

# **AVALIAÇÃO DE UM MODELO SIMPLIFICADO PARA O ESTUDO DAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS EM ETICS**

**GONÇALO GIL REGO DA SILVA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

---

Doutor João Manuel do Paço Quesado Delgado

JUNHO DE 2013

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais, Irmão e Isabel

*O sucesso é uma consequência e não um objetivo.*

*Flaubert, Gustave*



## **AGRADECIMENTOS**

Depois de concluído este trabalho, quero manifestar o mais profundo agradecimento a um conjunto de pessoas que, de diferentes modos, contribuíram de forma positiva para o desenvolvimento do mesmo.

À Professora Doutora Eva Barreira, minha orientadora, por todos os ensinamentos transmitidos, pela disponibilidade, motivação e dedicação que teve ao longo de todo o trabalho. Foi uma mais-valia e um grande prazer ter trabalhado a seu lado.

Ao Doutor João Delgado, meu coorientador, pelos conhecimentos transmitidos e pela ajuda que me foi dada ao longo da dissertação.

A um grupo de pessoas que, mais do que colegas, são amigos e me acompanharam ao longo de todo o curso, e em especial durante esta dissertação, que faço questão de mencionar: Afonso Pires, André Farinha, Diogo Marquez, Francisco Moura, João Alves, Jorge Dias, Luís Oliveira, Marco Coelho, Nuno Santoalha e Pedro Martins.

A todos os meus amigos próximos com quem partilho os mais diversos sentimentos e que são uma fonte de inspiração para mim.

À Isabel por todo o significado que tem e terá para mim.

Aos meus pais que são o meu maior orgulho, são quem mais se preocupa comigo e quem me faz pensar na verdadeira razão de viver: o amor.

Ao meu irmão por ser o meu maior abrigo.

À minha restante família, em especial aos meus avós por todo acompanhamento e carinho ao longo da minha vida.

Obrigado.



## **RESUMO**

Atualmente para responder às crescentes exigências de conforto higrotérmico, que estão intimamente associadas às preocupações com o consumo de energia e proteção ambiental, é imprescindível dotar as fachadas dos edifícios de isolamento térmico.

Um tipo de isolamento térmico vulgarmente utilizado por toda a Europa corresponde ao revestimento de fachadas com isolamento pelo exterior do tipo ETICS – reboco delgado armado sobre isolante. Esta solução, quando comparada com as soluções concorrentes, apresenta vantagens do ponto de vista térmico, construtivo assim como de facilidade de aplicação em obra. No entanto, este sistema tem um grande problema relacionado com o desenvolvimento de microrganismos na sua superfície exterior que, apesar de não ter influência no comportamento térmico e mecânico do sistema, confere à fachada um aspeto desagradável.

O desenvolvimento de microrganismos é potenciado pela ocorrência de condensações superficiais exteriores, que é um problema da física das construções que se verifica com muita frequência. Para analisar este assunto foi necessário um estudo dos princípios teóricos sobre a transferência de calor e humidade nas superfícies exteriores assim como dos modos de avaliação desse tipo de condensações.

Uma vez que os climas a que as fachadas estão expostas têm um grande peso na ocorrência de condensações superficiais exteriores, foram neste trabalho avaliados diversos climas de cidades portuguesas e de capitais europeias. Foi utilizado o programa de cálculo automático WUFI para proceder à simulação numérica de várias características tipo do sistema ETICS, aplicados nos diferentes cenários escolhidos. Os resultados extraídos das simulações serviram de base para análises gráficas que compararam diferentes formas de avaliação de condensações superficiais exteriores e que permitiram definir os climas mais críticos e menos críticos para a ocorrência do fenómeno em questão.

O objetivo fundamental da presente dissertação consistiu em ajustar e avaliar a fiabilidade de um modelo simplificado para o estudo das condensações superficiais exteriores em ETICS, que permita estimá-las sem recurso a modelos avançados de simulação higrotérmica. Deste modo, aplicou-se o meta-modelo Box-Behnken, que permitiu criar fórmulas para o cálculo de parâmetros de avaliação de condensações superficiais exteriores para cada clima. Por fim, procedeu-se à validação das fórmulas através da comparação dos seus resultados com os resultados das simulações numéricas efetuadas com o programa de cálculo automático WUFI.

**PALAVRAS-CHAVE:** ETICS, condensações superficiais exteriores, física das construções, simulação numérica, meta-modelo.





## **ABSTRACT**

Nowadays, in order to respond to the growing requirements of higrothermal comfort intimately associated to consumption of energy and environmental protection issues, it is indispensable to provide façades of buildings with thermal isolation.

A type of thermal isolation used throughout all Europe is the façade cladding with exterior isolation ETICS – external thermal insulation composite systems. This solution, when compared with competitive alternatives, reveals advantages that justify its use on a thermal, constructive and implementation point of view. Nevertheless this system has an enormous handicap related with the development of microorganisms on its exterior surface that, even though it does not influence its thermal and mechanical qualities provides the façade with an unpleasant aesthetic impact.

This proliferation of microorganisms is potentiated by the occurrence of exterior surfaces condensation representing a physical problem frequently found in various constructions. To analyse this issue, a study of the theoretical evidence behind the transfer of heat and humidity on the exterior surfaces is necessary, as well as the methods to evaluate these types of condensation.

As the climates to which the façades are exposed have a significant influence on the occurrence of exterior superficial condensation, a selection of Portuguese cities and European capitals' climates was made in order to study this problem using different scenarios. The program of automatic calculation (WUFI) was used to numerically simulate various model situations of the system ETICS on the different scenarios chosen. The results obtained from the simulations were graphically illustrated to compare different ways of evaluating the condensation of exterior surfaces and to define the most and least influential climates in which this process occurs.

The main objective of this dissertation consists in evaluating the liability and adjusting a simplified model for studying the condensation of exterior surfaces when using ETICS, allowing us to estimate the condensation without the use of advanced models of higrothermal simulation. Consequently, a specific meta-model named Box-Behnken was used. This instrument can create formulas that calculate parameters for the evaluation of exterior surface condensation in each climate. Finally, to justify the success of the meta-model this study proceeds to validate the formulas by comparing its results with the ones of the numerical simulations using the program of automatic calculation WUFI.

**KEYWORDS:** ETICS, exterior surfaces condensation, physical constructions, numerically simulate, meta-model.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>i</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO .....	2
1.3. ESTRUTURA DO TEXTO.....	2
<b>2. CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS EXTERIORES EM FACHADAS REVESTIDAS COM ETICS .....</b>	<b>5</b>
2.1. SISTEMA DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS PELO EXTERIOR DO TIPO ETICS.....	5
2.1.1. Nota introdutória .....	5
2.1.2. Vantagens dos sistemas do tipo ETICS.....	6
2.1.3. Desvantagens dos sistemas do tipo ETICS.....	7
2.2. CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS EXTERIORES .....	9
2.2.1. Transferência de calor.....	9
2.2.2. Balanço radiativo nos edifícios.....	13
2.2.3. Transferência de humidade.....	13
2.2.4. Avaliação das condensações superficiais exteriores.....	16
<b>3. AVALIAÇÃO HIGROTÉRMICA DE FACHADAS REVESTIDAS COM ETICS .....</b>	<b>17</b>
3.1. DESCRIÇÃO GERAL DO PROGRAMA DE CÁLCULO AUTOMÁTICO WUFI 4.2 .....	17
3.1.1. Nota introdutória .....	17
3.1.2. Equações de transferência conjunta de calor e humidade .....	17
3.1.3. Equações do balanço radiativo explícito na superfície exterior .....	19
3.2. SIMULAÇÕES EFETUADAS .....	22
3.3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	28

3.3.1. Nota introdutória .....	28
3.3.2. Avaliação horária .....	30
3.3.3. Avaliação anual .....	46
<b>3.4. SÍNTESE CRÍTICA .....</b>	<b>64</b>
<b>4. Meta-Modelo .....</b>	<b>67</b>
4.1. DESCRIÇÃO DO META-MODELO .....	67
4.2. TRATAMENTO DOS PARÂMETROS DE AJUSTE .....	70
4.3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS FINAIS .....	73
4.4. SÍNTESE CRÍTICA .....	94
<b>5. Conclusões .....</b>	<b>95</b>
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	95
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	96
BIBLIOGRAFIA .....	99
ANEXOS .....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 – Composição esquemática de uma fachada revestida com ETICS [5] .....	6
Figura 2. 2 – Degradação do sistema do tipo ETICS devido ao impacto [1] .....	8
Figura 2. 3 – Desenvolvimento de microrganismos no sistema [7] .....	8
Figura 2. 4 – Variação do comprimento de onda da radiação visível e comparação com a energia transportada [15] .....	11
Figura 2. 5 – Exemplo de um diagrama psicrométrico [17, 18] .....	15
Figura 3. 1 – Exemplo de uma parede simulada no programa WUFI.....	24
Figura 3. 2 – Coeficientes de transferência à superfície no programa WUFI .....	24
Figura 3. 3 – Cidades portuguesas estudadas [23] .....	25
Figura 3. 4 – Capitais europeias estudadas [24].....	26
Figura 3. 5 – Exemplo de um clima introduzido no programa WUFI .....	26
Figura 3. 6 – Orientação Norte considerada no programa WUFI para todas as cidades em estudo ....	27
Figura 3. 7 – Temperatura e humidade relativa interior considerado no programa WUFI .....	28
Figura 3. 8 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade do Porto, orientação Norte. ....	31
Figura 3. 9 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade do Porto, orientação Norte.....	31
Figura 3. 10 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade do Porto, orientação Norte. ....	32
Figura 3. 11 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Bragança, orientação Norte .....	33
Figura 3. 12 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Bragança, orientação Norte .....	33
Figura 3. 13 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade de Bragança, orientação Norte .....	34
Figura 3. 14 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Lisboa, orientação Norte .....	35
Figura 3. 15 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Lisboa, orientação Norte.....	35
Figura 3. 16 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade de Lisboa, orientação Norte .....	36
Figura 3. 17 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Berlim, orientação Norte .....	37
Figura 3. 18 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Berlim, orientação Norte.....	37

Figura 3. 19 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade de Berlim, orientação Norte .....	38
Figura 3. 20 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Londres, orientação Norte .....	39
Figura 3. 21 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Londres, orientação Norte .....	39
Figura 3. 22 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade de Londres, orientação Norte .....	40
Figura 3. 23 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Oslo, orientação Norte.....	41
Figura 3. 24 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Oslo, orientação Norte .....	41
Figura 3. 25 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade de Oslo, orientação Norte.....	42
Figura 3. 26 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Roma, orientação Norte .....	43
Figura 3. 27 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Roma, orientação Norte .....	43
Figura 3. 28 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade de Roma, orientação Norte .....	44
Figura 3. 29 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, no Porto, orientação Norte .....	46
Figura 3. 30 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, no Porto, orientação Norte.....	47
Figura 3. 31 - Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Bragança, orientação Norte.....	47
Figura 3. 32 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Bragança, orientação Norte.....	48
Figura 3. 33 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Coimbra, orientação Norte .....	48
Figura 3. 34 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Coimbra, orientação Norte.....	49
Figura 3. 35 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Castelo Branco, orientação Norte .....	49
Figura 3. 36 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Castelo Branco, orientação Norte.....	50
Figura 3. 37 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Lisboa, orientação Norte .....	50

Figura 3. 38 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Lisboa, orientação Norte .....	51
Figura 3. 39 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Évora, orientação Norte .....	51
Figura 3. 40 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Évora, orientação Norte.....	52
Figura 3. 41 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Faro, orientação Norte .....	52
Figura 3. 42 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Faro, orientação Norte.....	53
Figura 3. 43 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Berlim, orientação Norte.....	54
Figura 3. 44 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Berlim, orientação Norte.....	55
Figura 3. 45 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Berna, orientação Norte .....	55
Figura 3. 46 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Berna, orientação Norte .....	56
Figura 3. 47 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Budapeste, orientação Norte .....	56
Figura 3. 48 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Budapeste, orientação Norte.....	57
Figura 3. 49 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Londres, orientação Norte.....	57
Figura 3. 50 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Londres, orientação Norte.....	58
Figura 3. 51 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Madrid, orientação Norte.....	58
Figura 3. 52 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Madrid, orientação Norte .....	59
Figura 3. 53 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Oslo, orientação Norte .....	59
Figura 3. 54 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Oslo, orientação Norte.....	60
Figura 3. 55 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Paris, orientação Norte.....	60
Figura 3. 56 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Paris, orientação Norte.....	61

Figura 3. 57 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Roma, orientação Norte .....	61
Figura 3. 58 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Roma, orientação Norte.....	62
Figura 4. 1 - Representação gráfica de um planeamento experimental com modelo Box-Behnken de 3 fatores [29].....	68
Figura 4. 2 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Norte .....	76
Figura 4. 3 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Norte.....	76
Figura 4. 4 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Sul.....	77
Figura 4. 5 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Sul .....	77
Figura 4. 6 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Este.....	78
Figura 4. 7 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Este .....	78
Figura 4. 8 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Oeste .....	79
Figura 4. 9 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Oeste .....	79
Figura 4. 10 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Bragança e orientação Norte .....	80
Figura 4. 11 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Bragança e orientação Norte .....	80
Figura 4. 12 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Coimbra e orientação Norte .....	81



Figura 4. 13 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Coimbra e orientação Norte .....	81
Figura 4. 14 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Castelo Branco e orientação Norte .....	82
Figura 4. 15 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Castelo Branco e orientação Norte .....	82
Figura 4. 16 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Lisboa e orientação Norte .....	83
Figura 4. 17 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Lisboa e orientação Norte .....	83
Figura 4. 18 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Évora e orientação Norte .....	84
Figura 4. 19 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Évora e orientação Norte .....	84
Figura 4. 20 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Faro e orientação Norte .....	85
Figura 4. 21 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Faro e orientação Norte .....	85
Figura 4. 22 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Berlim e orientação Norte .....	86
Figura 4. 23 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Berlim e orientação Norte .....	86
Figura 4. 24 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Berna e orientação Norte .....	87
Figura 4. 25 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Berna e orientação Norte .....	87
Figura 4. 26 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Budapeste e orientação Norte .....	88

Figura 4. 27 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Budapeste e orientação Norte .....	88
Figura 4. 28 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Londres e orientação Norte .....	89
Figura 4. 29 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Londres e orientação Norte .....	89
Figura 4. 30 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Madrid e orientação Norte .....	90
Figura 4. 31 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Madrid e orientação Norte .....	90
Figura 4. 32 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Oslo e orientação Norte .....	91
Figura 4. 33 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Oslo e orientação Norte .....	91
Figura 4. 34 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Paris e orientação Norte .....	92
Figura 4. 35 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Paris e orientação Norte .....	92
Figura 4. 36 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Roma e orientação Norte .....	93
Figura 4. 37 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Roma e orientação Norte .....	93

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3. 1 - Resumo das 41 simulações para um clima X e uma orientação Y .....	23
Tabela 3. 2 – Propriedades básicas do material de cada camada, segundo a base de dados do programa WUFI.....	24
Tabela 3. 3 – Resumo dos 18 cenários estudados e respectivas referências para as 41 simulações de cada cenário .....	27
Tabela 3. 4 – Resumo, correspondente às 41 simulações, indicando as médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, para o Porto orientação Norte. ....	29
Tabela 3. 6 – Valores do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% e da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo referentes aos 15 climas estudados, orientação Norte .....	63
Tabela 4. 1 – Combinação dos ensaios para 5 fatores usando a formulação de Box-Behnken .....	69
Tabela 4. 2 – Aplicação do modelo Box-Behnken referente ao cenário da cidade de Paris orientada a Norte.....	71
Tabela 4. 3 – Erros finais de ajuste referentes aos 18 cenários estudados .....	72
Tabela 4. 4– Média das variações percentuais entre os valores estimados e os valores numéricos de cada variável dependente a nível global, a nível nacional e a nível europeu por simulação .....	75



## SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

$b$  – Incremento da condutibilidade térmica por percentagem de massa de humidade

$b_0$ ,  $b_i$  e  $b_{ij}$  – Coeficientes de regressão constantes

$c_0$  – Velocidade da luz no vácuo [ $\text{m.s}^{-1}$ ]

$D_w$  – Coeficiente de difusividade hídrica [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

$D_\phi$  – Coeficiente de condução líquida [ $\text{kg}/(\text{m.s})$ ]

$e$  – Espessura do elemento [ $\text{m}$ ]

$g_{atm}$  – Fator de forma atmosfera/superfície

$g_{ter}$  – Fator de forma solo/superfície

$H$  – Entalpia [ $\text{J}/\text{m}^3$ ]

$h_c$  – Coeficiente de transferência de calor por convecção [ $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ]

$h_l$  – Calor latente da mudança de fase [ $\text{J}/\text{kg}$ ]

$HR$  – Humidade relativa [%]

$I_{atm}$  – Radiação emitida pela atmosfera [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$I_{atm,ref}$  – Radiação atmosférica refletida pelo solo

$I_{cn}$  – Radiação total emitida pelo corpo negro [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$I_e$  – Radiação emitida pela superfície [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$I_e$  – Radiação emitida por um corpo real [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$I_{ol,perp}$  – Componente normal da radiação de onda longa que chega à superfície [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$I_{s,dif}$  – Radiação solar difusa [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$I_{s,dir}$  – Radiação solar direta perpendicular à superfície [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$I_{s,dir,h}$  – Radiação solar direta numa superfície horizontal [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$I_{s,perp}$  – Componente da radiação solar normal à superfície [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$I_{s,ref}$  – Radiação solar refletida pelo solo [ $\text{W/m}^2$ ]

$I_{ter}$  – Radiação emitida pelo solo [ $\text{W/m}^2$ ]

$k$  - Condutância térmica do elemento [ $\text{W/m}^2.\text{K}$ ]

$PC$  – Potencial de Condensação [Pa]

$P_n$  – Pressão atmosférica normal [Pa]

$p_{sat}$  – Pressão de saturação [Pa]

$P_{sat}(sup)$  – Pressão de saturação de vapor de água na superfície [Pa]

$p_v$  – Pressão parcial de vapor de água no ar [Pa]

$P_v(ar)$  – Pressão parcial de vapor de água no ar perto da superfície [Pa]

$q_{conv}$  – Densidade do fluxo de calor por convecção [ $\text{W/m}^2$ ]

$q_k$  – Densidade de fluxo de calor por condução [ $\text{W/m}^2$ ]

$q_{rad}$  – Densidade do fluxo de calor resultante do balanço radiativo à superfície [ $\text{W/m}^2$ ]

$q_{solar}$  – Densidade do fluxo de calor absorvido pela superfície devido à radiação solar incidente [ $\text{W/m}^2$ ]

$R_v$  – Constante universal dos gases [ $\text{J}/(\text{Kg}.\text{K})$ ]

$T$  – Temperatura absoluta [K]

$t$  – Tempo [s]

$T_a$  – Temperatura absoluta do ar [K]

$T_{ar}$  – Temperatura do ar ambiente [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{po}$  – Temperatura de ponto de orvalho [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_s$  – Temperatura absoluta da superfície [K]

$v$  – Concentração de vapor no ar [ $\text{Kg/m}^3$ ]

$v_v$  – Velocidade do vento

$w$  – Teor de humidade [ $\text{kg/m}^3$ ]

$X$  – Direção do fluxo de calor [m]

$X_i$  e  $X_j$  – Variáveis independentes

$Y$  – Variável dependente

$\alpha$  – Coeficiente de absorção

$\alpha_s$  – Coeficiente de absorção para a radiação solar

$\delta_a$  – Permeabilidade ao vapor no ar [Kg/(m.s.Pa)]

$\delta_p$  – Permeabilidade ao vapor do material [kg/(m.s.Pa)]

$\varepsilon$  – Emissividade da superfície

$\varepsilon_{ter}$  – Emissividade do solo

$\theta$  – Temperatura do ar [°C]

$\lambda$  – Comprimento de onda [ $\mu\text{m}$ ]

$\lambda$  – Condutibilidade térmica do material [W/m.K]

$\lambda$  – Condutibilidade térmica do material seco [W/(m.K)]

$\lambda_w$  – Condutibilidade térmica do material húmido [W/(m.K)]

$\mu$  – Fator de resistência à difusão de vapor

$\nu$  – Frequência de onda [Hz]

$\rho$  – Coeficiente de reflexão

$\rho$  – Massa volúmica do material seco [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_{s,ter}$  – Coeficiente de reflexão de onda curta do solo

$\sigma$  – Constante de Stefan-Boltzmann [W/(m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>)]

$\tau$  – Coeficiente de transmissão

$\varphi$  – Humidade relativa





# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A utilização de isolamento térmico na construção tornou-se obrigatória em Portugal a partir de 1991 com a entrada em vigor do primeiro Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Este regulamento foi o primeiro instrumento legal que, no nosso país, impôs requisitos nos projetos com o intuito de salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico no interior das edificações sem necessidades excessivas de consumo de energia, assim como minimizar as patologias associadas a condensações superficiais nos elementos construtivos. O isolamento térmico, que evita as perdas de calor na estação fria e o sobreaquecimento interior na estação quente, pode ser aplicado pelo interior das paredes envolventes do edifício, pode ser aplicado na caixa-de-ar de paredes duplas, ou pode ser aplicado pelo exterior.

Uma solução de isolamento térmico muito utilizado nos dias de hoje é o sistema ETICS (isolamento térmico pelo exterior que consiste na aplicação de um reboco delgado armado sobre placas de poliestireno expandido). A esta solução estão associadas inúmeras vantagens que justificam a sua utilização. Do ponto de vista térmico, os sistemas do tipo ETICS asseguram a continuidade do isolamento térmico em toda a envolvente do edifício e melhoram o conforto térmico devido ao aumento da inércia térmica interior. Já em termos construtivos, esta solução permite a diminuição da espessura das paredes exteriores e um aumento da durabilidade das fachadas. Para além do referido, também se trata de uma excelente técnica para reabilitação de edifícios existentes por ser de fácil colocação e por possibilitar uma aplicação em obra sem perturbar os ocupantes dos edifícios.

Contudo, as fachadas revestidas com ETICS também apresentam algumas desvantagens, como a baixa resistência ao impacto e a degradação do aspeto. A degradação do aspeto nestes sistemas deve-se ao desenvolvimento de microrganismos na superfície exterior do reboco e, apesar de não influenciar o desempenho térmico e mecânico do sistema, confere à fachada um impacto visual desagradável.

O desenvolvimento de microrganismos está relacionado com a ocorrência de condensações superficiais exteriores e, como tal, é de todo o interesse estudar este fenómeno físico no sistema de isolamento térmico em questão.

## **1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO**

O objetivo fundamental do trabalho desenvolvido consistiu em avaliar a fiabilidade e ajustar um modelo simplificado para o estudo das condensações superficiais exteriores em ETICS, que permita estimá-las sem recurso a modelos avançados de simulação higrotérmica. Definiu-se proceder à validação do modelo simplificado através da comparação dos seus resultados com os resultados de simulações efetuadas com o programa de cálculo automático WUFI.

Foram estabelecidas um conjunto de tarefas tais como:

- Estudo das vantagens e desvantagens de fachadas com isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS.
- Estudo dos princípios teóricos sobre a transferência de calor e humidade nas superfícies exteriores.
- Estudo dos modos de avaliação de condensações superficiais exteriores.
- Descrição geral do programa utilizado (WUFI) e estudo dos princípios e fundamentos teóricos em que o programa se baseia.
- Seleção de uma série de climas portugueses e europeus.
- Simulação numérica de várias situações modelo do sistema ETICS, para os diversos climas escolhidos, com recurso ao programa de cálculo automático WUFI.
- Comparar várias formas de avaliação de condensações superficiais exteriores através da análise e relação entre gráficos que traduzem alguns resultados de situações simuladas no programa.
- Fazer uma análise anual dos resultados de todos os climas estudados e tentar definir os climas mais críticos e menos críticos no que diz respeito à ocorrência de condensações superficiais exteriores.
- Utilizar um meta-modelo para criar fórmulas que permitam o cálculo de parâmetros de avaliação da ocorrência de condensações superficiais exteriores para cada clima. Proceder à validação das fórmulas por comparação com os resultados obtidos através das simulações efetuadas no programa.

## **1.3. ESTRUTURA DO TEXTO**

A presente dissertação é constituída por 5 capítulos:

Capítulo 1: Introdução – Enquadra o trabalho realizado, resume os seus objetivos e apresenta a estruturação do texto.

Capítulo 2: Condensações superficiais exteriores em fachadas revestidas com ETICS – Revisão bibliográfica sobre o sistema de isolamento térmico do tipo ETICS, os princípios teóricos fundamentais sobre a transferência de calor e humidade numa superfície exterior assim como os modos de avaliação das condensações superficiais exteriores.

Capítulo 3: Avaliação higrotérmica de fachadas revestidas com ETICS – Descrição do programa de cálculo utilizado, dos fundamentos teóricos a ele associados e apresentação das simulações efetuadas e análise dos resultados obtidos.

Capítulo 4: Meta-Modelo – Descrição dos princípios teóricos do meta-modelo utilizado neste trabalho (Box-Behnken). Apresentação e análise dos resultados obtidos com a aplicação do meta-modelo e validação do modelo por comparação com os resultados obtidos com o programa de simulação.

Capítulo 5: Conclusões – São referidas as principais conclusões que resultaram do trabalho efetuado e são mencionadas possíveis tarefas futuras.



## 2

# CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS EXTERIORES EM FACHADAS REVESTIDAS COM ETICS

### 2.1. SISTEMA DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS PELO EXTERIOR DO TIPO ETICS

#### 2.1.1. NOTA INTRODUTÓRIA

Para haver conforto térmico no interior de um edifício é necessário minimizar as trocas de calor com o exterior. No caso de edifícios cujos elementos construtivos não são dotados de isolamento térmico eficaz, é imprescindível recorrer ao consumo energético para assegurar o conforto térmico desejado no seu interior. No entanto, há cada vez mais preocupação com a energia e com a proteção ambiental. A escassez de combustíveis e consequente inflação dos mesmos levou à necessidade de serem estudadas soluções de isolamento térmico.

Uma das soluções de isolamento térmico consiste na aplicação de sistemas de isolamento térmico pelo exterior. Trata-se de sistemas que constituem uma ótima solução, tanto do ponto de vista energético como do ponto de vista construtivo, e são cada vez mais usados quer na reabilitação de edifícios, que não apresentam índices de isolamento regulamentares, quer na construção de edifícios novos.

Foi durante os anos 40 do século XX que surgiu, na Suécia, pela primeira vez um sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior constituído por lã mineral revestida com um reboco de cimento e cal. No final da década de 40, o sistema sofreu algumas alterações relacionadas com a composição do reboco, com o tipo de reforço e com o isolamento térmico [1].

A primeira utilização em grande escala de um sistema de isolamento térmico pelo exterior ocorreu na Alemanha nos finais da década de 1950. A aplicação visava impedir que, em silos, os grãos de açúcar se pegassem sob a ação da condensação. A primeira utilização em edifícios de habitação também ocorreu naquele país no início da década seguinte. No entanto, a sua utilização apenas se generalizou na Europa nos anos 70. Já em Portugal, só no início da década de 90 é que a utilização desses sistemas começou a ser frequente [1, 2].

De um modo genérico, os sistemas de isolamento pelo exterior são compostos por uma camada de isolamento térmico aplicada sobre o suporte e um paramento exterior para proteção, em particular, das

solicitações climáticas e mecânicas. Os sistemas de isolamento de fachadas pelo exterior podem ser classificados em três grandes famílias [3]:

- *Revestimentos descontínuos fixados ao suporte através de uma estrutura intermédia-fachadas ventiladas;*
- *Componentes prefabricados constituídos por um isolamento e um paramento, fixados diretamente ao suporte- “vêture”;*
- *Rebocos armados diretamente aplicados sobre o isolamento térmico – ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems with rendering).*

A sigla ETICS aplica-se a todos os sistemas constituídos por um isolamento térmico prefabricado, colado e/ou fixo mecanicamente ao suporte, e por um reboco armado, composto por uma ou várias camadas e aplicado diretamente sobre o isolamento. Este tipo de sistema deve garantir uma resistência térmica de, pelo menos,  $1 \text{ m}^2\text{°C/W}$  [1, 4].

Os sistemas do tipo ETICS mais frequentes no mercado português são constituídos por placas de poliestireno expandido (EPS) revestidas com um reboco delgado, aplicado em várias camadas, armado com uma ou várias redes de fibra de vidro. Como acabamento é utilizado, geralmente, um revestimento plástico espesso (RPE) (Figura 2.1) [3].

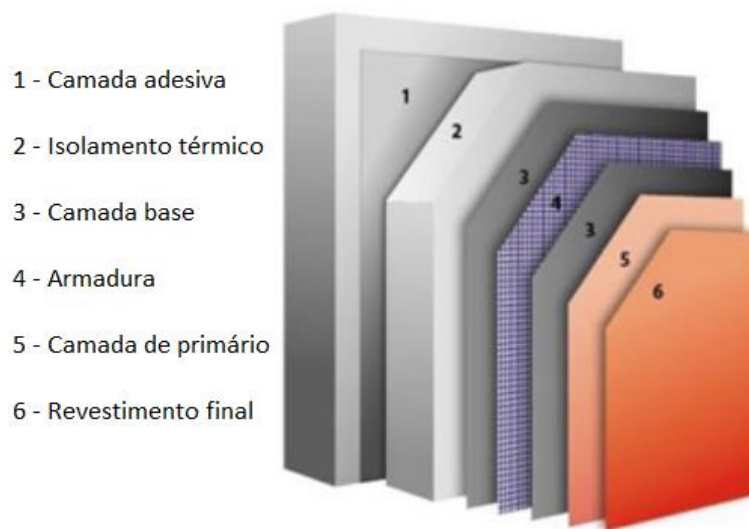


Figura 2. 1 – Composição esquemática de uma fachada revestida com ETICS [5]

#### 2.1.2. VANTAGENS DOS SISTEMAS DO TIPO ETICS

As principais vantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior que facilmente justificam a frequência com que são utilizados são [1, 3, 6]:

- Redução das pontes térmicas e das perdas globais de calor, visto que é assegurada a continuidade do isolamento térmico em toda a envolvente do edifício;
- Economia de energia devido à redução das necessidades de aquecimento e de arrefecimento do ambiente interior associado à redução das perdas globais de calor;

- Diminuição do risco de condensações superficiais e internas associado à melhoria das condições de salubridade no interior do edifício;
- Melhoria do conforto térmico de Inverno resultante do aumento da inércia térmica interior, uma vez que toda a massa das paredes da envolvente exterior pode armazenar calor;
- Melhoria do conforto térmico de Verão, também devido ao aumento de inércia térmica interior, atendendo a que as paredes têm um papel de regulação de temperatura, absorvendo calor nas horas mais quentes do dia para restituir durante a noite;
- Diminuição da espessura das paredes exteriores que implica, para a mesma área de implantação, um aumento da área útil dos compartimentos;
- Redução do peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura;
- Melhoria da impermeabilidade das paredes;
- Possibilidade de aplicação em obra sem perturbar os ocupantes dos edifícios, o que torna uma solução particularmente relevante na reabilitação de edifícios existentes;
- Simplicidade de colocação em obra;
- Grande variedade de cores e texturas de acabamento;
- Aumento da durabilidade das fachadas que se encontram protegidas da ação dos agentes climáticos e atmosféricos (choque térmico, água líquida, radiação solar, etc.).

### 2.1.3. DESVANTAGENS DOS SISTEMAS DO TIPO ETICS

Uma vez que o ETICS se trata de uma solução construtiva que passa pela montagem em obra, o desempenho futuro de todo o sistema está inteiramente dependente do modo de aplicação assim como das condições atmosféricas no momento em que é aplicado.

O incumprimento dos procedimentos adequados na montagem deste sistema, associado à falta de rigor e inexperiência, pode dar origem a uma série de patologias nomeadamente [1, 3]:

- Falta de planeza;
- Fissuração do reboco - devido, por exemplo, à aplicação de reboco entre as placas de isolamento térmico ou instabilidade do sistema por má fixação do isolamento térmico ao suporte;
- Sujidade acumulada nas zonas de escorrência de água;
- Destacamento e/ou empolamento do reboco ou do revestimento final – causado pelo desrespeito dos intervalos de secagem, ausência de camada de primário entre a camada de base e o revestimento final ou pela aplicação do reboco sobre placas de poliestireno degradadas;
- Descolagem parcial do sistema - resultante, na maior parte das vezes, das condições atmosféricas durante a aplicação (períodos muito húmidos ou temperaturas baixas), da má repartição do produto de colagem ou insuficiente compressão das placas contra o suporte e de infiltrações de água entre o isolamento e o suporte;
- Descolagem generalizada do sistema - consequência da incorreta análise e tratamento do suporte. É bastante provável que esta patologia se verifique quando o sistema é aplicado sobre suportes que estejam muito molhados, que apresentem sujidade, poeiras, óleo de descofragem ou produtos hidrófugos, entres outros casos.

No entanto, existem outras anomalias no sistema ETICS que não são possíveis evitar mesmo com uma correta execução da solução, tais como [1]:

- Baixa resistência ao impacto, que é particularmente gravosa em zonas acessíveis e que pode acarretar, além das evidentes consequências estéticas, pontos privilegiados de entrada de água para o interior (Figura 2.2);

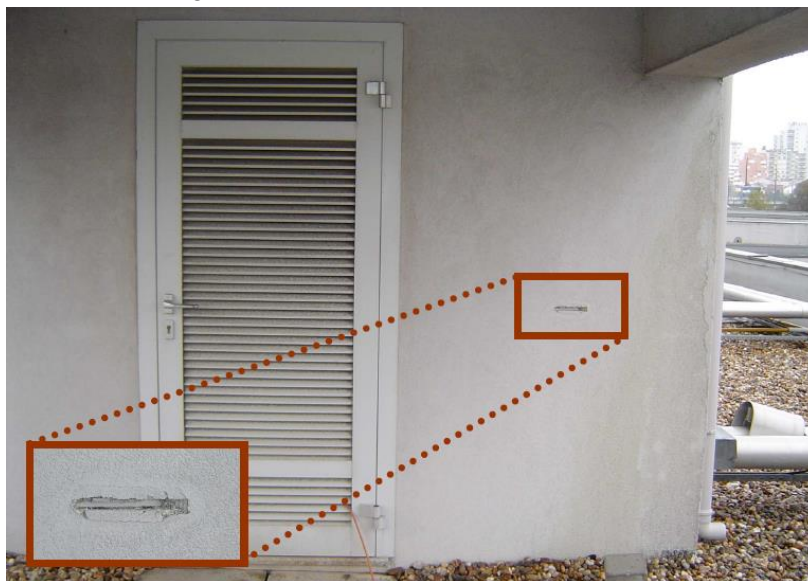


Figura 2. 2 – Degradação do sistema do tipo ETICS devido ao impacto [1]

- Degradação do aspeto exterior devido ao desenvolvimento de microrganismos (algas e cianobactérias). Este problema, apesar de não provocar qualquer alteração no desempenho térmico e mecânico do sistema, tem um grande impacto visual, conferindo às fachadas um aspeto de acentuada degradação (Figura 2.3).



Figura 2. 3 – Desenvolvimento de microrganismos no sistema [7]

Através de um estudo realizado em França, com um registo entre os anos 1979 e 1985, pode-se concluir que as patologias que têm mais peso no sistema ETICS é o destacamento e/ou empolamento do reboco ou do revestimento final e a microfissuração, com pesos de 29% e 26%, respetivamente. Também é de salientar que as anomalias relacionadas com a descolagem parcial e generalizada do sistema apresentam uma percentagem considerável de patologias registadas (24%). Já as patologias relacionadas com o desenvolvimento de bolores e algas, associadas ao aspeto do revestimento, degradação ao nível do rés-do-chão, infiltrações através do sistema e outras situações, todas juntas apenas representam 21% do total dos casos registados [8].



## 2.2. CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS EXTERIORES

### 2.2.1. TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor é a energia térmica em movimento provocada por uma diferença de temperatura, ou seja, ocorre sempre que existir uma diferença desta no mesmo meio ou em meios diferentes. Há três formas de transferência de calor: a condução, a convecção e a radiação [9].

A condução ocorre quando existe um gradiente térmico num dado domínio, provocando a transferência de energia a nível molecular da região com temperatura mais elevada para a região com temperatura mais baixa. Este processo de transferência de energia, onde não se verificam movimentos internos nem emissão de radiação, necessita de um meio físico de propagação, ocorrendo sobretudo no interior dos meios sólidos, líquidos ou gasosos [9].

No caso específico da envolvente dos edifícios, o parâmetro característico da transmissão de calor por condução é a condutância térmica do elemento, Equação 2.1, que depende da espessura do elemento e da condutibilidade térmica [10, 11].

$$k = \frac{\lambda}{e} \quad (2.1)$$

Em que:

$k$  - Condutância térmica do elemento [ $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ]

$\lambda$  - Condutibilidade térmica [ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ]

$e$  - Espessura do elemento [m]

A transferência de calor por condução é regida pela lei de Fourier (2.2), em que o fluxo de calor é proporcional ao gradiente de temperatura  $dT$ . O fator de proporcionalidade designa-se por condutibilidade térmica [11].

$$q_k = -\lambda \times \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.2)$$

Em que:

$q_k$  - Densidade de fluxo de calor por condução [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$\lambda$  - Condutibilidade térmica do material [ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ]

$T$  - Temperatura [K]

$X$  - Direção do fluxo de calor [m]

Quanto à convecção, é um modo de transferência de calor que ocorre entre uma superfície e um fluido (normalmente o ar) em movimento quando se encontram a temperaturas diferentes. A convecção pode ser do tipo natural, se resultar de diferenças na densidade do ar devido a variações de temperatura, ou do tipo forçada, se resultar da ação do vento [1, 9].

A convecção pode ser expressa como [12]:

$$q_{conv} = h_c \times (T_s - T_a) \quad (2.3)$$

Em que:

$q_{conv}$  – Densidade do fluxo de calor por convecção [W/m<sup>2</sup>]

$h_c$  – Coeficiente de transferência de calor por convecção [W/(m<sup>2</sup>.K)]

$T_s$  – Temperatura absoluta da superfície [K]

$T_a$  – Temperatura absoluta do ar [K]

De acordo com Kunzel, o coeficiente de transferência de calor por convecção pode ser calculado em função da velocidade e direção do vento através das Equações 2.4 e 2.5 [13].

$$h_c = 4,5 + 1,6 \cdot v_v \quad (\text{Superfície voltada ao vento}) \quad (2.4)$$

$$h_c = 4,5 + 0,33 \cdot v_v \quad (\text{Superfície protegida do vento}) \quad (2.5)$$

Em que:

$h_c$  – Coeficiente de transferência de calor por convecção [W/(m<sup>2</sup>.K)]

$v_v$  – Velocidade do vento

A terceira e última forma de transferência de calor é a radiação. A radiação térmica verifica-se sempre que há diferença de temperatura entre duas superfícies e diferencia-se das outras formas de transferência de calor essencialmente pelo facto de não necessitar de nenhum meio físico para se propagar. Trata-se de um fenómeno de transferência de energia realizado através de ondas eletromagnéticas que se propagam pelo espaço à velocidade da luz (velocidade constante), em que as ondas são caracterizadas pela sua frequência de oscilação,  $\nu$ , e comprimento de onda,  $\lambda$ . O comprimento de onda é a distância entre dois picos consecutivos da onda eletromagnética e expressa-se através do quociente entre a velocidade e a frequência como indica a Equação 2.6 [1, 10, 14].

$$\lambda = \frac{c_0}{\nu} \quad (2.6)$$

Em que:

$\lambda$  – Comprimento de onda [ $\mu\text{m}$ ]

$c_0=3 \times 10^8$  – Velocidade da luz no vácuo [m.s<sup>-1</sup>]

$\nu$  – Frequência de onda [Hz]

O espectro eletromagnético abrange uma vasta quantidade de comprimentos de onda, que variam entre os raios gama e as ondas de rádio, em que os primeiros têm comprimentos de onda curtos e os segundos têm comprimentos de onda longos. A zona intermédia do espectro corresponde à radiação térmica que inclui parte da radiação ultravioleta, a totalidade da radiação visível e parte da radiação infravermelha. A única região do espectro que o olho humano consegue detetar é a radiação visível, com comprimentos de onda entre 0,35 e 0,75 $\mu\text{m}$  (Figura 2.4) [1].

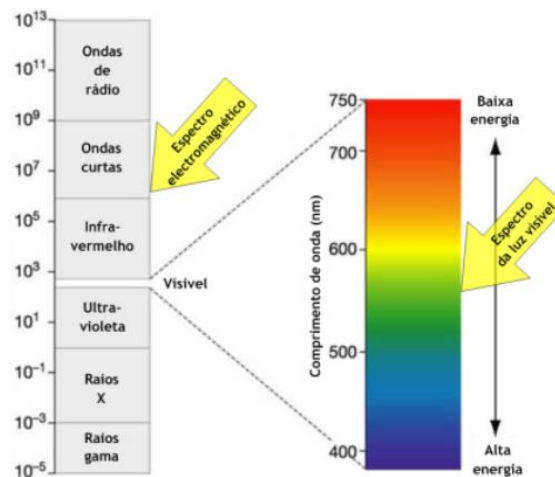


Figura 2. 4 – Variação do comprimento de onda da radiação visível e comparação com a energia transportada [15]

Da radiação que incide numa superfície,  $I$ , apenas uma percentagem é absorvida,  $\alpha$ , enquanto que a restante é refletida,  $\rho$ , e transmitida,  $\tau$ . Analisando a lei da conservação da energia verifica-se que a soma destes três coeficientes é sempre igual à unidade (2.7) [1].

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.7)$$

Em que:

$\alpha$  – Coeficiente de absorção, que traduz a razão entre a radiação absorvida pelo objeto e a radiação total que sobre ele incide

$\rho$  – Coeficiente de reflexão, que traduz a razão entre a radiação refletida pelo objeto e a radiação total que sobre ele incide

$\tau$  – Coeficiente de transmissão, que traduz a razão entre a radiação transmitida pelo objeto e a radiação total que sobre ele incide

No caso específico dos edifícios (corpos sólidos e opacos), considera-se que não existe transmissão de radiação ( $\tau=0$ ), à exceção dos vidros em que o coeficiente relacionado com a transmissão toma um valor próximo da unidade [1].

A radiação de onda curta corresponde à energia proveniente do sol. Da totalidade da radiação solar incidente numa superfície, parte é radiação direta e outra radiação difusa. A primeira, corresponde aos raios provenientes diretamente do sol, enquanto a radiação difusa está associada à reflexão dos raios solares na atmosfera.

Segundo Kunzel, a Equação 2.8 traduz o fluxo de calor da radiação solar que é parcialmente absorvida quando incide numa superfície opaca [13].

$$q_{solar} = \alpha_s \cdot I_{s,perp} \quad (2.8)$$

Em que:

$q_{solar}$  – Densidade do fluxo de calor absorvido pela superfície devido à radiação solar incidente [W/m<sup>2</sup>]

$\alpha_s$  – Coeficiente de absorção para a radiação solar

$I_{s,perp}$  – Componente da radiação solar normal à superfície [W/m<sup>2</sup>]

A emissão de radiação de onda longa está relacionada com a noção de corpo negro, ou corpo perfeito, que é definido como uma superfície ideal que absorve a totalidade da radiação que incide no corpo, independentemente do comprimento de onda e da direção ( $\alpha=1$ ). Posteriormente, essa radiação é emitida na sua totalidade, sob a forma de calor, com a mesma intensidade e em todas as direções [1, 9].

A Lei de Stefan-Boltzmann (2.9) permite o cálculo da radiação emitida em todas as direções e para todos os comprimentos de onda, em função da sua temperatura absoluta [9].

$$I_{cn} = \sigma \cdot T^4 \quad (2.9)$$

Em que:

$I_{cn}$  – Radiação total emitida pelo corpo negro [W/m<sup>2</sup>]

$\sigma=5,67 \cdot 10^{-8}$  – Constante de Stefan-Boltzmann [W/(m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>)]

$T$  – Temperatura absoluta [K]

As superfícies reais têm comportamento diferente dos corpos negros, ou seja, das superfícies ideais. As superfícies reais emitem menos radiação do que os corpos negros. Desta forma, a energia emitida por um corpo real,  $I_e$ , é caracterizada por uma propriedade chamada emissividade,  $\varepsilon$ , que pode ser definida como a razão entre a radiação emitida pela superfície real e a radiação emitida pelo corpo negro à mesma temperatura [1, 9].

A energia emitida por um corpo real é representada pela Equação 2.10 [1].

$$I_e = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad (2.10)$$

Em que:

$I_e$  – Radiação emitida por um corpo real [ $\text{W/m}^2$ ]

Segundo a lei de Kirchoff, para uma determinada temperatura do corpo, a emissividade é igual ao coeficiente de absorção de onda longa [1, 16].

### 2.2.2. BALANÇO RADIATIVO NOS EDIFÍCIOS

As fachadas dos edifícios comportam-se como corpos cinzentos, em que a radiação emitida é calculada através da Lei de Stefan-Boltzmann considerando a emissividade do reboco exterior. Estas superfícies absorvem uma parte da radiação de onda longa emitida pelas superfícies da envolvente, radiação terrestre, e pelo céu, radiação atmosférica. A radiação terrestre corresponde ao somatório da radiação de onda longa emitida pelas várias superfícies terrestres, que também obedecem à lei de Stefan-Boltzmann [1].

Os principais parâmetros que entram na determinação do balanço radiativo de onda longa da fachada de um edifício são a radiação emitida pelo edifício,  $I_e$ , a radiação emitida pela atmosfera,  $I_{\text{atm}}$ , e a radiação emitida pelas superfícies terrestres nas imediações do edifício,  $I_{\text{ter}}$ .

Uma vez que a temperatura de todas as superfícies terrestres são semelhantes à da fachada do edifício, o balanço das trocas de radiação de onda longa que ocorre entre a fachada e as superfícies terrestres é equilibrado e praticamente nulo [1].

O efeito da atmosfera no balanço radiativo de uma fachada é considerável, uma vez que é indicado como a causa principal da descida de temperatura à superfície. Num cenário de céu encoberto, a atmosfera comporta-se como um corpo cinzento cuja temperatura é idêntica à do edifício, ou seja, o balanço das trocas de radiação de onda longa entre a fachada do edifício e a atmosfera são praticamente nulas.

Já numa situação de céu limpo, a radiação emitida pela atmosfera não é contínua para todos os comprimentos de onda (corpo não-cinzento), o que implica uma redução significativa na intensidade total emitida. Desta forma, a radiação absorvida pela superfície diminui e a radiação emitida pelo edifício é superior àquela que recebe da atmosfera e das superfícies vizinhas, verificando-se uma perda de calor por radiação. Verifica-se um balanço negativo que, durante a noite, não é compensado uma vez que não há radiação solar e, por isso, origina uma descida na temperatura superficial do edifício. Esta descida de temperatura aumenta a probabilidade de ocorrência de condensações superficiais exteriores [1].

### 2.2.3. TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE

O ar é constituído por um conjunto de gases, vapor de água e poluentes. O ar seco pode ser definido como um ar sem vapor de água nem poluentes. O ar húmido é uma mistura de ar seco e vapor de água, que se assume que se comportam de forma ideal. Desta forma, a pressão total do ar húmido corresponde ao somatório da pressão parcial de vapor de água e da pressão parcial de ar seco. É possível obter a pressão parcial de vapor de água utilizando a Equação 2.11 que corresponde à lei geral dos gases [1].

$$p_v = R_v \cdot T \cdot v \quad (2.11)$$

Em que:

$p_v$  – Pressão parcial de vapor de água no ar [Pa]

$R_v=461,52$  – Constante universal dos gases [J/(Kg.K)]

$T$  – Temperatura absoluta [K]

$v$  – Concentração de vapor no ar [Kg/m<sup>3</sup>]

Já a pressão de saturação de vapor de água, que corresponde à quantidade máxima de vapor de água contida no ar sem que haja passagem da fase gasosa para a fase líquida da água, depende da temperatura e pode ser calculada através da Equação 2.12 [13].

$$p_{sat} = 611 \cdot \exp\left(\frac{a \cdot \theta}{\theta_0 + \theta}\right) \quad (2.12)$$

Com:

$a=22,44$  e  $\theta_0=272,44^\circ\text{C}$  se  $\theta<0^\circ\text{C}$

$a=17,08$  e  $\theta_0=234,18^\circ\text{C}$  se  $\theta\geq 0^\circ\text{C}$

Em que:

$p_{sat}$  – Pressão de saturação [Pa]

$\theta$  – Temperatura do ar [ $^\circ\text{C}$ ]

Geralmente, o ar húmido tem uma quantidade de vapor inferior à que corresponde à saturação. À relação entre a pressão de vapor do ar e a pressão de saturação designa-se por humidade relativa e expressa-se em percentagem (2.13) [1, 17].

$$HR = \frac{p_v}{p_{sat}} \cdot 100 \quad (2.13)$$

Em que:

HR – Humidade relativa [-]

A temperatura de ponto de orvalho corresponde à temperatura abaixo da qual o vapor de água condensa, ou seja, a temperatura para a qual o vapor de água presente na atmosfera, a uma determinada pressão, passa do estado gasoso ao estado líquido.

A temperatura de ponto de orvalho pode ser determinada através do diagrama psicrométrico que trata das propriedades termodinâmicas do ar húmido. Tendo conhecimento, por exemplo, da temperatura e da humidade relativa do ar, através da análise do diagrama (Figura 2.5) é possível obter diretamente a pressão de vapor,  $p$ , em pascal, e a humidade absoluta do ar,  $U$ , em gramas de vapor de água por quilogramas de ar seco. Com este diagrama é também possível obter a temperatura de ponto de orvalho tendo conhecimento, por exemplo, da temperatura ambiente e da humidade relativa do ar. Analisando a Figura 2.5 verifica-se que, para uma temperatura do ar de 20°C e uma humidade relativa do ar de 50%, obtém-se uma temperatura de ponto de orvalho do ar, ( $T_s=T_{po}$ ), de 9,5°C.

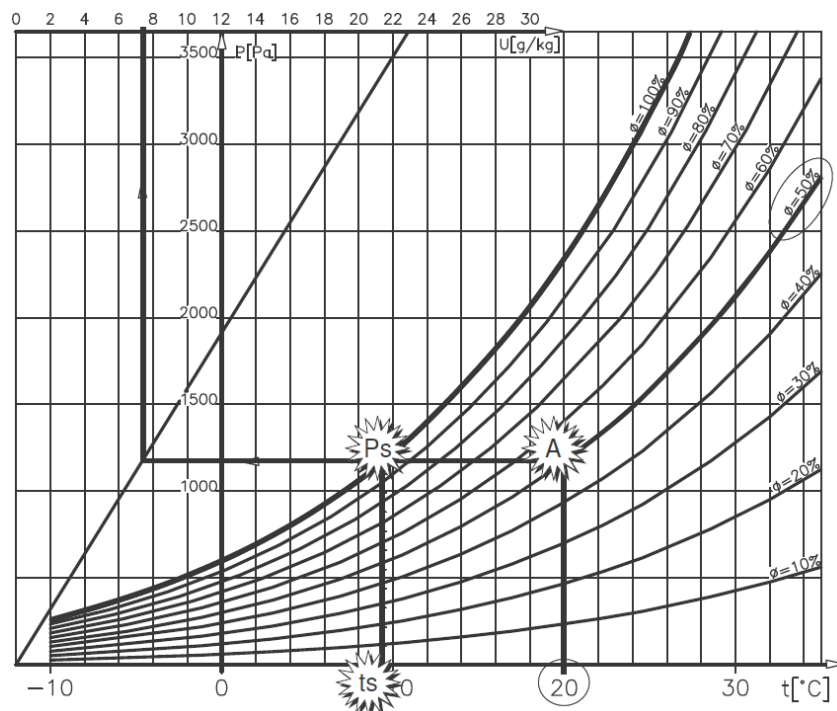


Figura 2. 5 – Exemplo de um diagrama psicrométrico [17, 18]

A temperatura de ponto de orvalho também pode ser obtida através de uma equação que depende da humidade relativa e da temperatura do ar (2.14) [19].

$$T_{po} = \frac{237,7 \left[ \frac{17,271 \times T_{ar}}{237,7 + T_{ar}} + \ln \left( \frac{HR}{100} \right) \right]}{\left[ 17,271 - \frac{17,271 \times T_{ar}}{237,7 + T_{ar}} + \ln \left( \frac{HR}{100} \right) \right]} \quad (2.14)$$

Em que:

$T_{po}$  – Temperatura de ponto de orvalho [°C]

$T_{ar}$  – Temperatura do ar ambiente [°C]

$HR$  – Humidade relativa do ar [%]

#### 2.2.4. AVALIAÇÃO DAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS EXTERIORES

Para avaliar a ocorrência de condensações superficiais exteriores pode comparar-se a pressão parcial de vapor de água no ar com a pressão de saturação de vapor de água, ou seja, sempre que a pressão parcial de vapor de água no ar for superior à pressão de saturação ( $p_v > p_{sat}$ ) há ocorrência de condensações. A diferença entre a pressão parcial de vapor de água no ar perto da superfície e a pressão de saturação de vapor de água na superfície é chamado Potencial de Condensação, PC (2.15), e sempre que for positivo há ocorrência de condensações na superfície do elemento em estudo [1].

$$PC = P_v(ar) - P_{sat}(sup) \quad (2.15)$$

Em que:

$PC$  – Potencial de Condensação [Pa]

$P_v(ar)$  – Pressão parcial de vapor de água no ar perto da superfície [Pa]

$P_{sat}(sup)$  – Pressão de saturação de vapor de água na superfície [Pa]

O valor acumulado do Potencial de condensação positivo, (2.16), para um dado período de tempo, permite estimar a quantidade de vapor de água que condensa nesse período de tempo [1].

$$\sum [P_v(ar) - P_{sat}(sup) > 0] \quad (2.16)$$



## 3

## AVALIAÇÃO HIGROTÉRMICA DE FACHADAS REVESTIDAS COM ETICS

### 3.1. DESCRIÇÃO GERAL DO PROGRAMA DE CÁLCULO AUTOMÁTICO WUFI 4.2

#### 3.1.1. NOTA INTRODUTÓRIA

O software utilizado nesta dissertação é o programa de cálculo automático WUFI 4.2, desenvolvido pelo instituto alemão Fraunhofer – IBP e é divulgado em Portugal e Espanha pelo Laboratório de Física das Construções – LFC, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Este programa é uma ferramenta de simulação da transferência de calor e humidade em elementos construtivos, ou seja, permite o cálculo simultâneo, unidirecional (1D) e em regime variável, da transferência de calor e humidade num elemento constituído por diferentes camadas [1, 20].

Este programa de simulação higrotérmica tem em consideração fenómenos de transporte e armazenamento de calor e humidade. Os fenómenos considerados na transferência de calor são: a condução, os fluxos de entalpia resultantes da mudança de fase, a radiação solar e a radiação de onda longa. Já os mecanismos considerados na transferência de humidade são: a difusão para a fase de vapor e a capilaridade e a difusão de superfície para a fase líquida [1].

#### 3.1.2. EQUAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA CONJUNTA DE CALOR E HUMIDADE

As Equações 3.1 e 3.2 são as equações de balanço de massa e energia [13].

$$\frac{\partial w}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \nabla(D_{\varphi} \cdot \nabla \varphi + \delta_p \cdot \nabla(\varphi \cdot p_{sat})) \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda_w \cdot \nabla T) + h_l \cdot \nabla(\delta_p \cdot \nabla(\varphi \cdot p_{sat})) \quad (3.2)$$

Em que:

$w$  – Teor de humidade [kg/m<sup>3</sup>]

$\phi$  – Humidade relativa [-]

$t$  – Tempo [s]

$D_\phi$  – Coeficiente de condução líquida [kg/(m.s)]

$\delta_p$  – Permeabilidade ao vapor do material [kg/(m.s.Pa)]

$p_{sat}$  – Pressão de saturação [Pa]

$H$  – Entalpia [J/m<sup>3</sup>]

$T$  – Temperatura absoluta [K]

$\lambda_w$  – Condutibilidade térmica do material húmido [W/(m.K)]

$h_l$  – Calor latente da mudança de fase [J/kg]

A pressão de saturação é calculada através da Equação 2.13. O fator de resistência à difusão de vapor,  $\mu$ , é calculado através da Equação 3.3, o valor da condutibilidade térmica do material húmido,  $\lambda_w$ , obtém-se através da Equação 3.4 e o coeficiente de condução líquida,  $D_\phi$ , através da Equação 3.5 [13].

$$\mu = \frac{\delta_a}{\delta_p} = \frac{2,0 \cdot 10^{-7} \cdot T_a^{0,81} / P_n}{\delta_p} \quad (3.3)$$

$$\lambda_w = \lambda \cdot \left( 1 + b \cdot \frac{w}{\rho} \right) \quad (3.4)$$

$$D_\phi = D_w \cdot \frac{\partial w}{\partial \phi} \quad (3.5)$$

Em que:

$\mu$  – Fator de resistência à difusão de vapor [-]

$\delta_a$  – Permeabilidade ao vapor no ar [Kg/(m.s.Pa)]

$T_a$  – Temperatura absoluta do ar [K]

$P_n$  – Pressão atmosférica normal [Pa]

$\lambda$  – Condutibilidade térmica do material seco [W/(m.K)]

$b$  – Incremento da condutibilidade térmica por percentagem de massa de humidade [-]

$\rho$  – Massa volúmica do material seco [kg/m<sup>3</sup>]

$D_w$  – Coeficiente de difusividade hídrica [m<sup>2</sup>/s]

### 3.1.3. EQUAÇÕES DO BALANÇO RADIATIVO EXPLÍCITO NA SUPERFÍCIE EXTERIOR

O efeito da radiação na superfície exterior é considerado no programa WUFI através de um balanço radiativo explícito considerando duas parcelas relativas à radiação de onda longa (emissão pela superfície,  $I_e$ , e a radiação que chega à superfície,  $I_{ol,perp}$ ) que são combinadas com uma parcela relativa à radiação de onda curta ( $I_{s,perp}$ ). A Equação 3.6 demonstra o fluxo de calor que resulta do balanço radiativo na superfície exterior. As duas primeiras parcelas do segundo membro da Equação 3.6 representam o valor total de radiação (de onda curta e longa) que chega à superfície, uma vez que segundo a Lei de Kirchoff, a emissividade da superfície,  $\varepsilon$ , é igual ao coeficiente de absorção de onda longa. Nesta mesma equação, a última parcela do segundo membro é a radiação emitida pela superfície do edifício [13].

$$q_{rad} = \alpha_s \times I_{s,perp} + \varepsilon \times I_{ol,perp} - I_e \quad (3.6)$$

Em que:

$q_{rad}$  – Densidade do fluxo de calor resultante do balanço radiativo à superfície [W/m<sup>2</sup>]

$\alpha_s$  – Coeficiente de absorção para a radiação solar [-]

$I_{s,perp}$  – Componente da radiação solar normal à superfície [W/m<sup>2</sup>]

$\varepsilon$  – Emissividade da superfície [-]

$I_{ol,perp}$  – Componente normal da radiação de onda longa que chega à superfície [W/m<sup>2</sup>]

$I_e$  – Radiação emitida pela superfície [W/m<sup>2</sup>]

A radiação solar total,  $I_{s,perp}$ , depende da radiação solar direta perpendicular à superfície,  $I_{s,dir}$ , da radiação solar difusa,  $I_{s,dif}$ , afetada pelo fator de forma atmosfera/superfície,  $g_{atm}$ , e da radiação solar refletida pelo solo,  $I_{s,ref}$ , afetada pelo fator de forma solo/superfície,  $g_{ter}$  [13].

$$I_{s,perp} = I_{s,dir} + g_{atm} \times I_{s,dif} + g_{ter} \times I_{s,ref} \quad (3.7)$$

Em que:

$I_{s,dir}$  – Radiação solar direta perpendicular à superfície [ $W/m^2$ ]

$g_{atm}$  – Fator de forma atmosfera/superfície [-]

$I_{s,dif}$  – Radiação solar difusa [ $W/m^2$ ]

$g_{ter}$  – Fator de forma solo/superfície [-]

$I_{s,ref}$  – Radiação solar refletida pelo solo [ $W/m^2$ ]

A componente normal da radiação de onda longa que chega à superfície,  $I_{ol,perp}$ , é obtida através do somatório da radiação emitida pela atmosfera,  $I_{atm}$ , afetada pelo fator de forma atmosfera/superfície,  $g_{atm}$ , com a radiação emitida pelo solo,  $I_{ter}$ , e radiação atmosférica refletida pelo solo,  $I_{atm,ref}$ , ambas afetadas pelo fator de forma solo/superfície,  $g_{ter}$ . Os fatores de forma dependem da inclinação da superfície,  $\beta(^{\circ})$ , e são obtidos através das equações 3.9 e 3.10 [13].

$$I_{ol,perp} = g_{atm} \times I_{atm} + g_{ter} \times (I_{ter} + I_{atm,ref}) \quad (3.8)$$

Em que:

$I_{atm}$  – Radiação emitida pela atmosfera [ $W/m^2$ ]

$I_{ter}$  – Radiação emitida pelo solo [ $W/m^2$ ]

$I_{atm,ref}$  – Radiação atmosférica refletida pelo solo

$$g_{atm} = \cos^2(\beta / 2) \quad (3.9)$$

$$g_{ter} = 1 - g_{atm} \quad (3.10)$$

A radiação solar direta normal à superfície,  $I_{s,dir}$ , é calculada automaticamente pelo programa WUFI e depende da radiação solar direta incidente numa superfície horizontal,  $I_{s,dir,h}$ , que é fornecida pelos dados climáticos, e da posição do sol. O valor da radiação solar difusa,  $I_{s,dif}$ , assim como o da radiação atmosférica,  $I_{atm}$ , são extraídos diretamente do ficheiro que tem os dados climáticos [13].

A radiação solar refletida pelo solo,  $I_{s,ref}$ , expressa-se através da Equação 3.11 e depende da radiação solar difusa,  $I_{s,dif}$ , da radiação solar direta incidente numa superfície horizontal,  $I_{s,dir,h}$ , e do coeficiente de reflexão de onda curta do solo,  $\rho_{s,ter}$  [13].

$$I_{s,ref} = \rho_{s,ter} \times (I_{s,dir,h} + I_{s,dif}) \quad (3.11)$$

Em que:

$\rho_{s,ter}$  – Coeficiente de reflexão de onda curta do solo [-]

$I_{s,dir,h}$  – Radiação solar direta numa superfície horizontal [W/m<sup>2</sup>]

A Lei de Stefan-Boltzmann permite calcular a radiação de onda longa emitida pelo solo,  $I_{ter}$ , (3.12). Para o seu cálculo é considerada a emissividade do solo e que a sua temperatura é igual à do ar exterior [13].

$$I_{ter} = \varepsilon_{ter} \times \sigma \times T_a^4 \quad (3.12)$$

Em que:

$\varepsilon_{ter}$  – Emissividade do solo [-]

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  – Constante de Stefan-Boltzmann [W/(m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>)]

$T_a$  – Temperatura absoluta do ar exterior [K]

Para determinar a radiação atmosférica refletida pelo solo,  $I_{atm,ref}$ , é necessário recorrer à radiação emitida pela atmosfera,  $I_{atm}$ , que se pode obter no ficheiro de dados climáticos, e ao coeficiente de reflexão de onda longa do solo,  $\rho_{ol,ter}$ , (3.13) [13].

$$I_{atm,ref} = \rho_{ol,ter} \times I_{atm} \quad (3.13)$$

De acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, a radiação de onda longa emitida pelo edifício,  $I_e$ , depende da emissividade,  $\varepsilon$ , e da temperatura da superfície,  $T$ , (2.9). Como a temperatura da superfície não é conhecida, o programa resolve a dependência não-linear da Equação 2.9 através da linearização pela série de Taylor (3.14) [13].

$$I_{e,lin} = \varepsilon \times \sigma \times T_i^4 + 4 \times \varepsilon \times \sigma \times T_i^3 \times (T_{i+1} - T_i) \quad (3.14)$$

### **3.2. SIMULAÇÕES EFETUADAS**

Para fazer a avaliação higrotérmica de fachadas revestidas com ETICS foi utilizado o programa WUFI referido anteriormente. Com este programa de cálculo automático foram simuladas 738 simulações referentes a uma série de cenários deste tipo de sistema de isolamento térmico. Como foi mencionado anteriormente, as condensações dependem de vários fatores, nomeadamente, das características do material e das condições climáticas do local. Assim sendo, considerou-se importante combinar a variação de todos estes fatores para obter um leque mais extenso de casos de estudo. O objetivo de todas estas simulações foi a adaptação de meta-modelos para a determinação de parâmetros de avaliação de condensações superficiais exteriores em diferentes cidades portuguesas e europeias, assunto que será abordado no Capítulo 4.

Foram considerados 5 parâmetros para o estudo de fachadas revestidas com ETICS, tendo sido definidos para cada um deles limites máximos e mínimos admissíveis [21]:

- Coeficiente de absorção de radiação de onda curta do revestimento exterior com variação entre os 0,2 (para cores claras) e 0,7 (valor máximo recomendado para sistemas do tipo ETICS);
- Emissividade do revestimento exterior com variação entre os 0,8 e os 0,95;
- Espessura do revestimento exterior com variação entre os 0,005 e os 0,02 metros;
- Espessura da camada de isolamento térmico com variação entre os 0,04 e os 0,10 metros;
- Radiação de onda longa incidente na superfície exterior devido à presença de obstáculos na periferia com valores entre os 0 e os 10%.

Tendo em consideração o intervalo de valores que estes 5 parâmetros podem tomar, nas simulações efetuadas consideraram-se os valores de 0,2, 0,45 e 0,7 para o coeficiente de absorção de radiação de onda curta, 0,8, 0,875 e 0,95 para o coeficiente de emissividade de radiação de onda longa, 0,005, 0,0125 e 0,02 metros para a espessura do revestimento exterior, 0,04, 0,07 e 0,1 metros para a espessura da camada de isolamento térmico e 0, 5 e 10% para a radiação de onda longa incidente na superfície exterior devido à presença de obstáculos na periferia. Ou seja, consideraram-se os valores mínimos, médios e máximos dos correspondentes intervalos. A combinação destes 5 parâmetros, e por imposição do meta-modelo que vai ser referido no capítulo seguinte, resulta em 41 simulações como podem ser analisadas na Tabela 3.1.

Quanto à constituição do elemento construtivo em estudo, parede com sistema de isolamento térmico do tipo ETICS, optou-se, do interior para o exterior, por um reboco interior à base de ligantes hidráulicos com 0,015 metros de espessura, uma camada de betão do tipo C35/45 de 0,20 metros de espessura, uma camada de isolamento térmico do tipo EPS com espessura variável e uma camada de reboco acrílico exterior também de espessura variável (Figura 3.1). Todas as propriedades foram obtidas através da base de dados do programa WUFI (Tabela 3.2).

Tabela 3. 1 - Resumo das 41 simulações para um clima X e uma orientação Y

	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]
	<i>Absorp</i>	<i>Emiss</i>	<i>Espess. Reboco</i>	<i>Isol. Term.</i>	<i>Rad. OL</i>
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)
SE.X.Y1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5
SE.X.Y2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5
SE.X.Y3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5
SE.X.Y4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5
SE.X.Y5	0,7	0,875	0,02	0,07	5
SE.X.Y6	0,7	0,875	0,005	0,07	5
SE.X.Y7	0,2	0,875	0,02	0,07	5
SE.X.Y8	0,2	0,875	0,005	0,07	5
SE.X.Y9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5
SE.X.Y10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5
SE.X.Y11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5
SE.X.Y12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5
SE.X.Y13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10
SE.X.Y14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0
SE.X.Y15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10
SE.X.Y16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0
SE.X.Y17	0,45	0,95	0,02	0,07	5
SE.X.Y18	0,45	0,95	0,005	0,07	5
SE.X.Y19	0,45	0,8	0,02	0,07	5
SE.X.Y20	0,45	0,8	0,005	0,07	5
SE.X.Y21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5
SE.X.Y22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5
SE.X.Y23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5
SE.X.Y24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5
SE.X.Y25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10
SE.X.Y26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0
SE.X.Y27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10
SE.X.Y28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0
SE.X.Y29	0,45	0,875	0,02	0,1	5
SE.X.Y30	0,45	0,875	0,02	0,04	5
SE.X.Y31	0,45	0,875	0,005	0,1	5
SE.X.Y32	0,45	0,875	0,005	0,04	5
SE.X.Y33	0,45	0,875	0,02	0,07	10
SE.X.Y34	0,45	0,875	0,02	0,07	0
SE.X.Y35	0,45	0,875	0,005	0,07	10
SE.X.Y36	0,45	0,875	0,005	0,07	0
SE.X.Y37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10
SE.X.Y38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0
SE.X.Y39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10
SE.X.Y40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0
SE.X.Y41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5

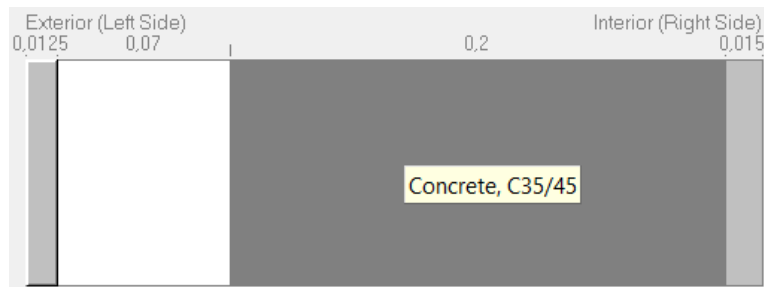


Figura 3. 1 – Exemplo de uma parede simulada no programa WUFI

As propriedades básicas dos materiais que são necessárias para as simulações são: massa volúmica [ $\text{kg/m}^3$ ]; porosidade [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]; calor específico do material seco [ $\text{J}/(\text{kg.K})$ ]; condutibilidade térmica do material seco [ $\text{W}/(\text{m.K})$ ] e fator de resistência à difusão de vapor [-]. A Tabela 3.2 mostra os valores das propriedades assumidas para o material constituinte de cada camada.

Tabela 3. 2 – Propriedades básicas do material de cada camada, segundo a base de dados do programa WUFI

Propriedades	Unidades	Reboco interior	Betão	EPS	Reboco exterior
Massa volúmica	[ $\text{kg/m}^3$ ]	2000,0	2220,0	30,0	1600,0
Porosidade	[ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]	0,3	0,18	0,95	0,2
Calor específico do material seco	[ $\text{J}/(\text{kg.K})$ ]	850,0	850,0	1500,0	850,0
Condutibilidade térmica do material seco	[ $\text{W}/(\text{m.K})$ ]	1,2	1,6	0,04	1,0
Fator de resistência à difusão de vapor	[-]	25,0	248,0	50,0	25,0

Para este estudo foi considerada uma resistência térmica superficial exterior [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ] variável com a direção e velocidade do vento. Nas simulações efetuadas a ação da chuva incidente não é considerada pelo que se adotou um valor nulo para o coeficiente de absorção de chuva incidente (Figura 3.2).

Assembly/Monitor Positions | Orientation/Inclination/Height | **Surface Transfer Coeff.** | Initial Conditions

**Exterior Surface (Left Side)**

Heat Resistance [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]  External Wall   
☒ wind-dependent ☒ includes long-wave radiation parts

Sd-Value [m]  No coating

Short-Wave Radiation Absorptivity [-]  User Defined   
 Long-Wave Radiation Emissivity [-]

Rain Water Absorption Factor [-]  User Defined

**Interior Surface (Right Side)**

Heat Resistance [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]  (External Wall)  
 Sd-Value [m]  No coating

Figura 3. 2 – Coeficientes de transferência à superfície no programa WUFI



Uma vez que o clima a que a superfície está exposta tem um grande peso na ocorrência de condensações superficiais exteriores, são considerados diferentes climas neste trabalho. Os dados de cada clima foram gerados pelo Software Meteonorm da Meteotest que depois de exportados foram convertidos num formato compatível com o programa de simulação numérica WUFI (Figura 3.5) [22].

Foram considerados 7 climas de cidades portuguesas e 8 climas de capitais europeias. Os climas portugueses que foram estudados foram os do Porto, de Bragança, de Coimbra, de Castelo Branco, de Lisboa, de Évora e de Faro (Figura 3.3). Os climas europeus que foram estudados foram os de Berlim (Alemanha), de Berna (Suíça), de Budapeste (Hungria), de Londres (Inglaterra), de Madrid (Espanha), de Oslo (Noruega), de Paris (França) e de Roma (Itália) (Figura 3.4).

Os parâmetros que foram considerados para cada clima foram: a direção do vento [°]; a velocidade do vento [m/s]; a temperatura do ar [°C]; a humidade relativa do ar [-]; a radiação solar global [W/m<sup>2</sup>]; a radiação solar difusa [W/m<sup>2</sup>]; a radiação atmosférica [W/m<sup>2</sup>] e a pressão atmosférica [hPa].



Figura 3. 3 – Cidades portuguesas estudadas [23]



Figura 3. 4 – Capitais europeias estudadas [24]

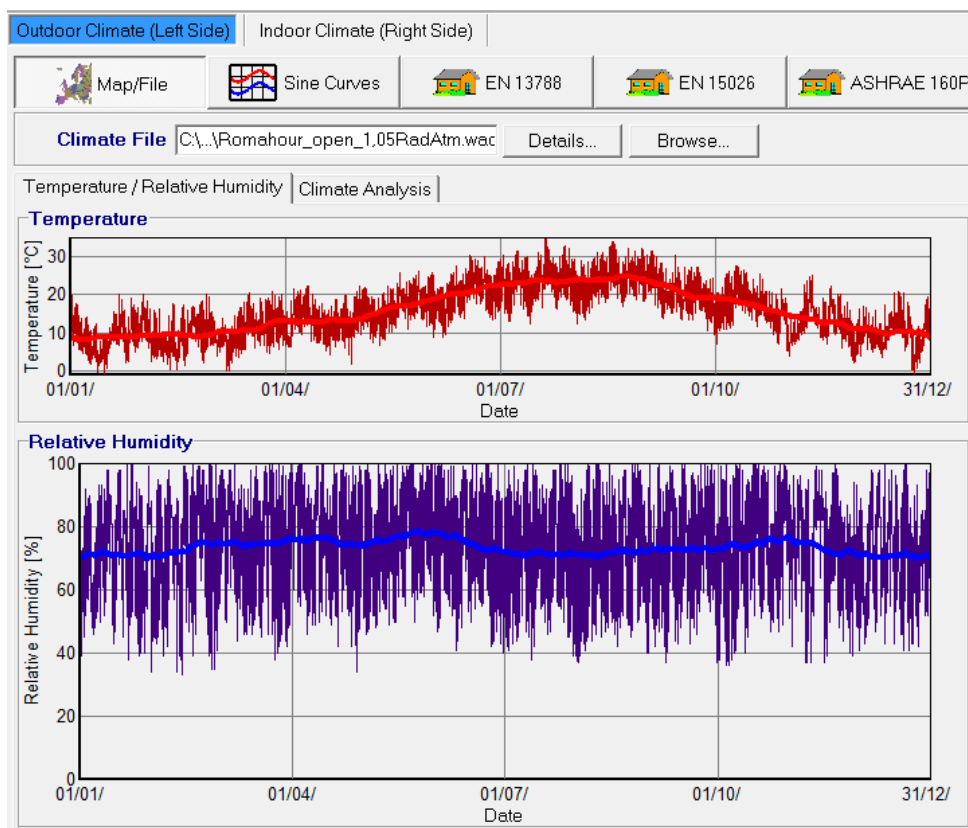


Figura 3. 5 – Exemplo de um clima introduzido no programa WUFI

As simulações foram efetuadas tendo em conta que o elemento construtivo estava orientado a Norte uma vez que é a orientação mais gravosa para a ocorrência do fenómeno em estudo (Figura 3.6). No entanto, para a cidade do Porto foram consideradas as 4 orientações (Norte, Sul, Este e Oeste).

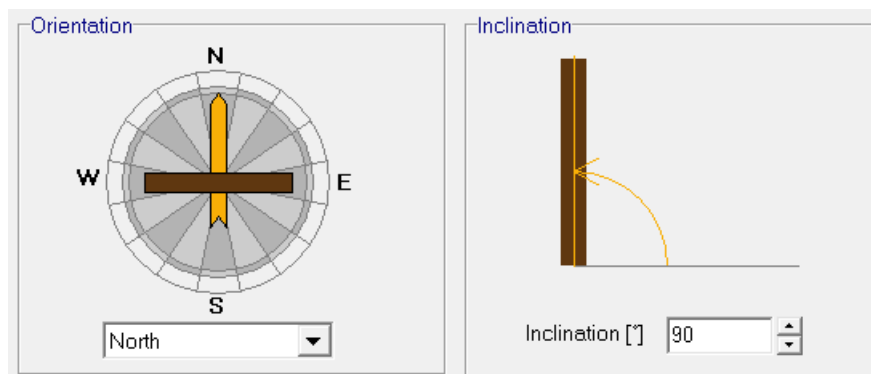


Figura 3. 6 – Orientação Norte considerada no programa WUFI para todas as cidades em estudo

O comportamento higrotérmico de fachadas revestidas com ETICS foi então estudado para 15 climas (7 de cidades portuguesas e 8 de capitais europeias), considerando a orientação Norte, exceto para o Porto, em que foram consideradas as 4 orientações (Tabela 3.3). Foram então simulados 18 cenários de climas e orientações diferentes, em que a cada cenário correspondem 41 simulações apresentadas na Tabela 3.1. As 738 simulações efetuadas correspondem precisamente aos 18 cenários com 41 simulações cada.

Tabela 3. 3 – Resumo dos 18 cenários estudados e respetivas referências para as 41 simulações de cada cenário

	Localização	Orientação	Referência
ETICS PORTUGAL	Porto	N	SE.P.N1-41
		S	SE.P.S1-41
		E	SE.P.E1-41
		O	SE.P.O1-41
	Bragança	N	SE.B.N1-41
	Coimbra	N	SE.C.N1-41
	Castelo Branco	N	SE.CB.N1-41
	Lisboa	N	SE.L.N1-41
	Évora	N	SE.E.N1-41
	Faro	N	SE.F.N1-41
ETICS EUROPA	Berlim	N	SE.BA.N1-41
	Berna	N	SE.BS.N1-41
	Budapeste	N	SE.BH.N1-41
	Londres	N	SE.LI.N1-41
	Madrid	N	SE.M.N1-41
	Oslo	N	SE.O.N1-41
	Paris	N	SE.PF.N1-41
	Roma	N	SE.R.N1-41

Quanto à temperatura e humidade relativa do interior assumiram-se valores constantes de 20°C e 60%, respetivamente (Figura 3.7).

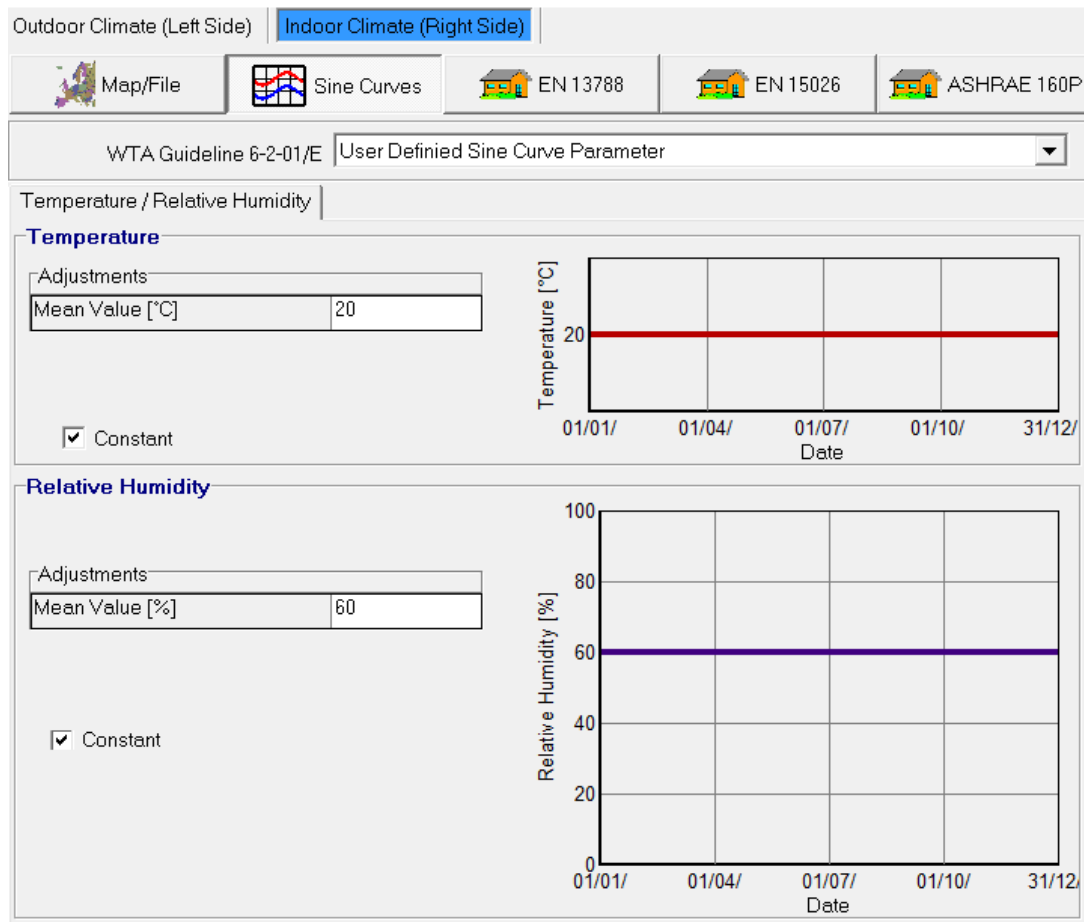


Figura 3. 7 – Temperatura e humidade relativa interior considerado no programa WUFI

### 3.3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.3.1. NOTA INTRODUTÓRIA

Os parâmetros que foram extraídos do programa para cada simulação foram os valores horários da temperatura superficial exterior e da humidade relativa superficial exterior, uma vez que a avaliação do comportamento higrotérmico da fachada vai ser efetuada através do cálculo do potencial de condensação (Equação 2.16) e da humidade relativa na superfície exterior. Através da temperatura superficial exterior obtém-se a pressão de saturação na superfície ( $p_{\text{sat}}(\text{sup})$ ) com a Equação 2.12. A pressão parcial de vapor de água do ar ( $p_v(\text{ar})$ ) foi obtida, através da Equação 2.13 que depende da temperatura e da humidade relativa do ar exterior. O potencial de condensação (PC) corresponde à diferença entre a pressão parcial de vapor de água no ar e a pressão de saturação à superfície. Só os valores positivos do potencial de condensação foram considerados na análise do risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores. Também foram consideradas as humidades relativas superficiais exteriores iguais a 100%.

Além dos valores horários de PC e da humidade relativa superficial, foram calculados os acumulados mensais do potencial de condensação (apenas considerando os valores positivos) e do número de horas em que a humidade relativa da superfície exterior é igual a 100%. Finalmente também foi calculada a média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas em que a humidade relativa da superfície exterior é igual a 100%.

Depois de calculados os valores da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas em que a humidade relativa da superfície exterior é igual a 100% para todas as simulações, foram organizados quadros resumo das simulações por cidade e orientação (Tabela 3.4). As tabelas resumo podem ser consultadas em Anexo.

Tabela 3. 4 – Resumo, correspondente às 41 simulações, indicando as médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, para o Porto orientação Norte.

	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]		
	<i>Absorp</i>	<i>Emiss</i>	<i>Espess. Reboco</i>	<i>Isol. Term.</i>	<i>Rad. OL</i>	<i>Média Anual CP</i>	<i>Acum. Anual RH=100%</i>
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)
SE.P.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	271	61
SE.P.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	156	30
SE.P.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	323	88
SE.P.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	185	46
SE.P.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	165	26
SE.P.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	257	53
SE.P.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	219	49
SE.P.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	285	73
SE.P.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	301	57
SE.P.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	82	15
SE.P.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	352	86
SE.P.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	107	27
SE.P.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	6	4
SE.P.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	1618	396
SE.P.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	7	4
SE.P.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	1974	574
SE.P.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	230	43
SE.P.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	339	70
SE.P.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	126	17
SE.P.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	200	43
SE.P.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	388	89
SE.P.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	123	25
SE.P.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	240	41
SE.P.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	61	12
SE.P.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	8	4
SE.P.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	2097	549
SE.P.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	4	3
SE.P.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	1346	362
SE.P.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	259	45
SE.P.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	73	14
SE.P.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	387	93
SE.P.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	108	20
SE.P.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	5	3
SE.P.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	1464	356
SE.P.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	7	4
SE.P.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	1907	484
SE.P.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	11	4
SE.P.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	2086	508
SE.P.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0
SE.P.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	996	253
SE.P.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	217	47

Para uma análise mais detalhada do fenómeno, e tendo em conta o número de simulações, optou-se por seleccionar um cenário que fosse muito gravoso do ponto de vista da ocorrência de condensações e do número de horas em que a humidade relativa superficial exterior iguala os 100 %. Uma análise dos valores obtidos para a média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e para o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% para os diferentes cenários mostrou que a combinação de parâmetros mais gravosa é a correspondente à simulação 38. Considerando a orientação Norte, dos 15 cenários estudados, 12 apresentaram os maiores valores relativamente ao potencial de condensação. Quanto ao somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, nos 15 cenários estudados, a simulação 38 representou um valor elevado.

Assim sendo, para fazer a avaliação higrotérmica de fachadas revestidas com ETICS foi considerada a simulação 38, para cada cidade e orientação. A esta simulação corresponde um coeficiente de absorção de radiação de onda curta de 0,45, uma emissividade de 0,875, uma espessura do revestimento exterior de 0,0125 metros, uma espessura da camada de isolamento térmico de 0,1 metros e uma radiação de onda longa adicional de 0%.

Através desta análise por cenário, é possível concluir que uma radiação de onda longa adicional nula aumenta consideravelmente a ocorrência de condensações superficiais exteriores neste tipo de fachada, uma vez que corresponde sempre a valores mais elevados de potencial de condensação e de número de horas em que a humidade relativa superficial exterior iguala os 100 %. Os outros parâmetros têm um peso relativo mais ou menos semelhante, uma vez que, para o mesmo valor de radiação adicional de onda longa, a variação dos parâmetros origina valores de potencial de condensação e do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% muito próximos.

### 3.3.2. AVALIAÇÃO HORÁRIA

Para uma análise mais precisa do fenómeno, seleccionou-se uma semana do ano em estudo. A semana foi escolhida aleatoriamente, apenas com a intensão de ser uma semana com ocorrência de condensações superficiais exteriores em todos os climas estudados. A semana em questão é a semana entre o dia 21 e 27 de Janeiro, que tem início na 481<sup>a</sup> hora e fim na 648<sup>a</sup> hora do ano. Para cada cenário foram criados os seguintes gráficos:

- Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, durante a semana em estudo;
- Variação horária do potencial de condensação positivo, durante a semana em estudo;
- Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, durante a semana em estudo.

Foi feita uma selecção dos gráficos horários objeto de uma análise mais detalhada na presente dissertação. Não havia interesse em serem todos discutidos pelo facto de algumas cidades terem apresentado resultados semelhantes. Foram seleccionadas para análise 3 cidades portuguesas e 4 capitais europeias. As cidades portuguesas são Porto (orientação Norte), Bragança e Lisboa e as capitais europeias são Berlim, Londres, Oslo e Roma.

O primeiro cenário a ser analisado corresponde à cidade do Porto, orientação Norte (Figura 3.8, Figura 3.9 e Figura 3.10).

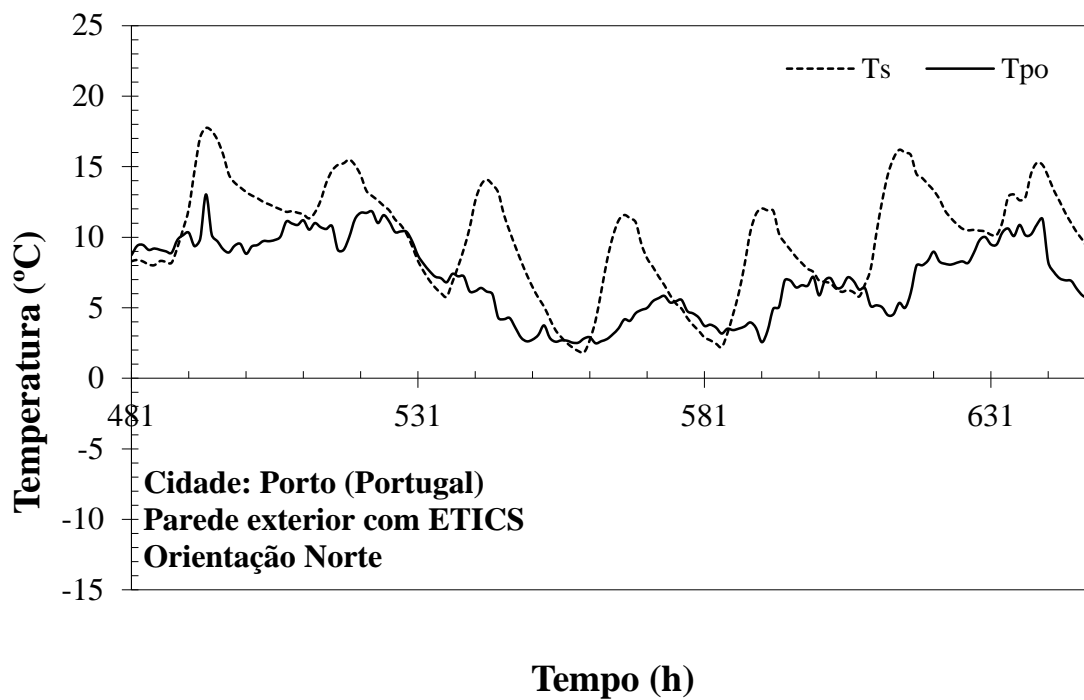


Figura 3. 8 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade do Porto, orientação Norte.

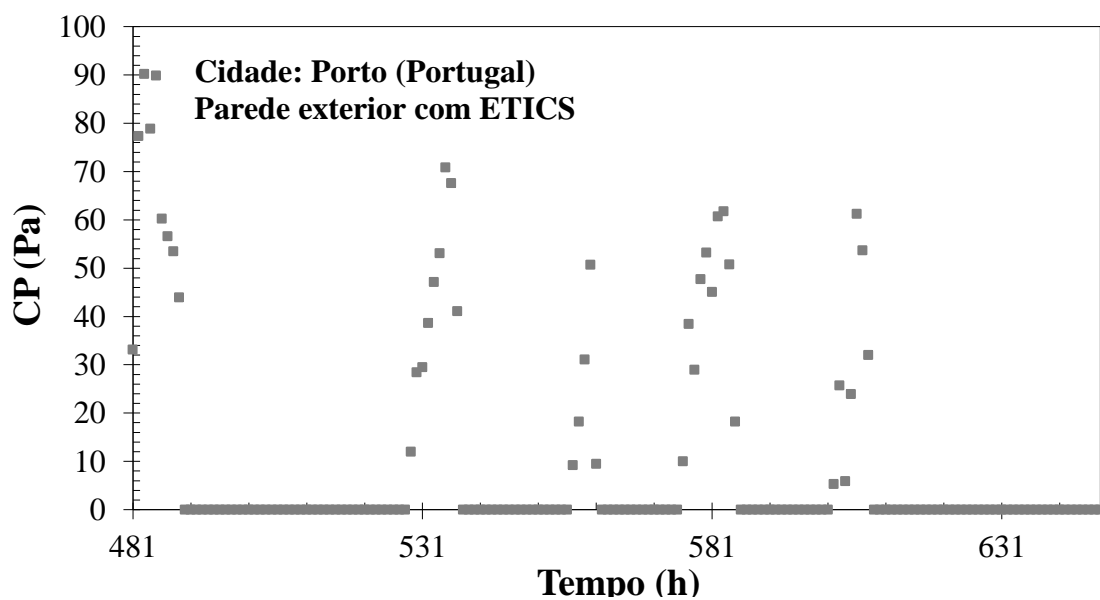


Figura 3. 9 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade do Porto, orientação Norte.

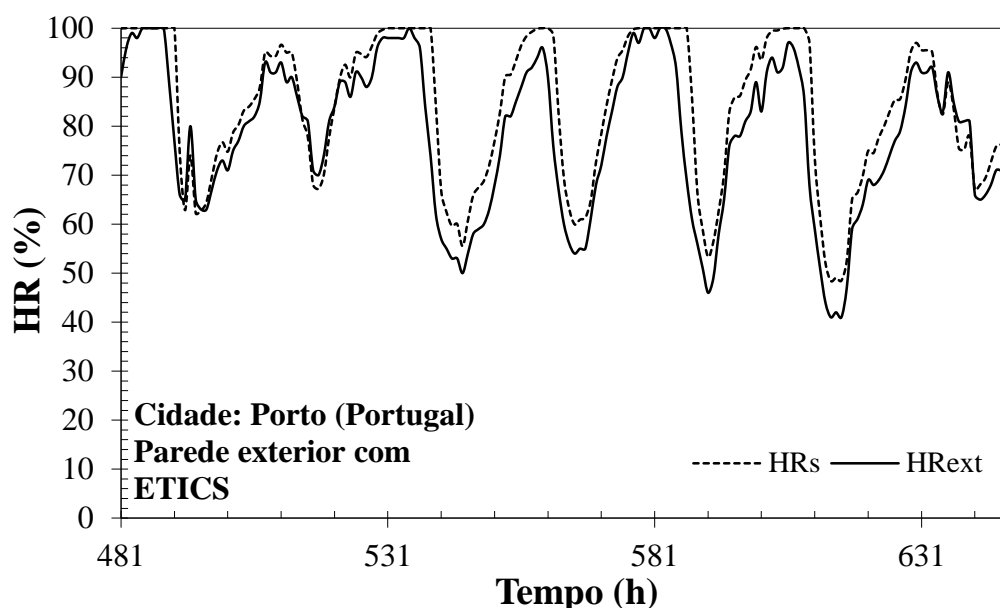


Figura 3. 10 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade do Porto, orientação Norte.

Analisando os três gráficos anteriores pode constatar-se que estão relacionados. No gráfico da Figura 3.8, em certos intervalos de tempo, a linha a tracejado da temperatura superficial exterior ( $T_s$ ) é coincidente e inferior à linha da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior ( $T_{po}$ ). Uma vez que a temperatura de ponto de orvalho é a temperatura a partir da qual o vapor de água condensa, sempre que as linhas são coincidentes ou a linha a tracejado estiver por baixo da linha contínua, ou seja, sempre que a temperatura superficial exterior for igual ou inferior à temperatura de ponto de orvalho do ar exterior, há ocorrência de condensações superficiais exteriores. No gráfico da Figura 3.9, sempre que há pontos significa que há ocorrência de condensações superficiais exteriores porque cada ponto corresponde precisamente a um valor horário de potencial de condensação positivo. No gráfico da Figura 3.10, sempre que a humidade relativa da superfície exterior (linha a tracejado) for igual a 100%, implica que o ar junto à superfície está saturado e por isso ocorreram condensações superficiais exteriores. Os intervalos em que a linha do  $T_s$  é coincidente ou está por baixo da linha da  $T_{po}$  são coincidentes com os intervalos em que o potencial de condensação (PC) é maior que zero e a humidade relativa superficial exterior (HRs) é igual a 100% (Figura 3.8, Figura 3.9 e Figura 3.10).

Na cidade do Porto considerando a fachada orientada a Norte e para a semana em estudo, verificam-se 5 períodos com ocorrência de condensações superficiais exteriores. O primeiro corresponde às primeiras 9 horas da semana em estudo, ou seja, entre as 0 horas e as 9 horas do dia 21 de Janeiro. Também se verifica a ocorrência de condensações superficiais exteriores entre as 0 horas e as 9 horas do dia 23 de Janeiro, entre as 4 horas e as 9 horas do dia 24 de Janeiro, entre as 23 horas do dia 24 e as 9 horas do dia 25 de Janeiro e entre a 1 hora e as 8 horas do dia 26 de Janeiro. Nesta semana em estudo, o somatório do número de horas em que foram registadas condensações superficiais exteriores foi 40. A temperatura superficial exterior varia entre os 1,8°C e os 17,7°C, correspondendo o valor mínimo a um período de condensações. O valor máximo do potencial de condensação para esta semana em estudo foi de 90,18 Pa (Figura 3.8, Figura 3.9 e Figura 3.10).



O segundo cenário analisado corresponde à cidade de Bragança, orientação Norte (Figura 3.11, Figura 3.12 e Figura 3.13).

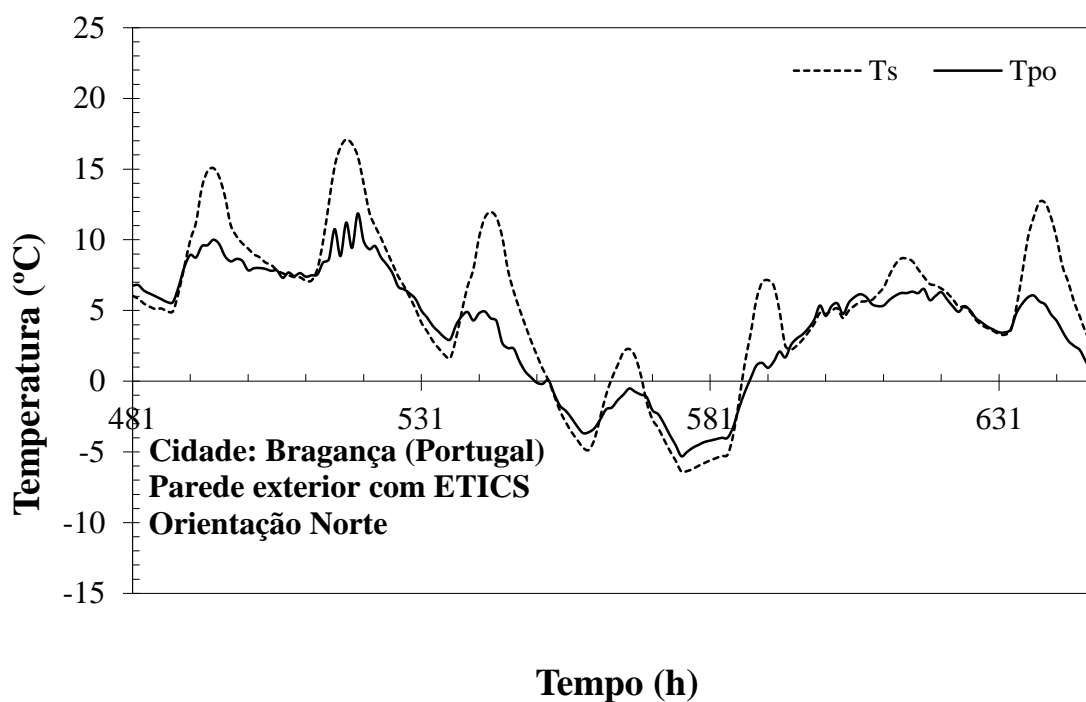


Figura 3. 11 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Bragança, orientação Norte

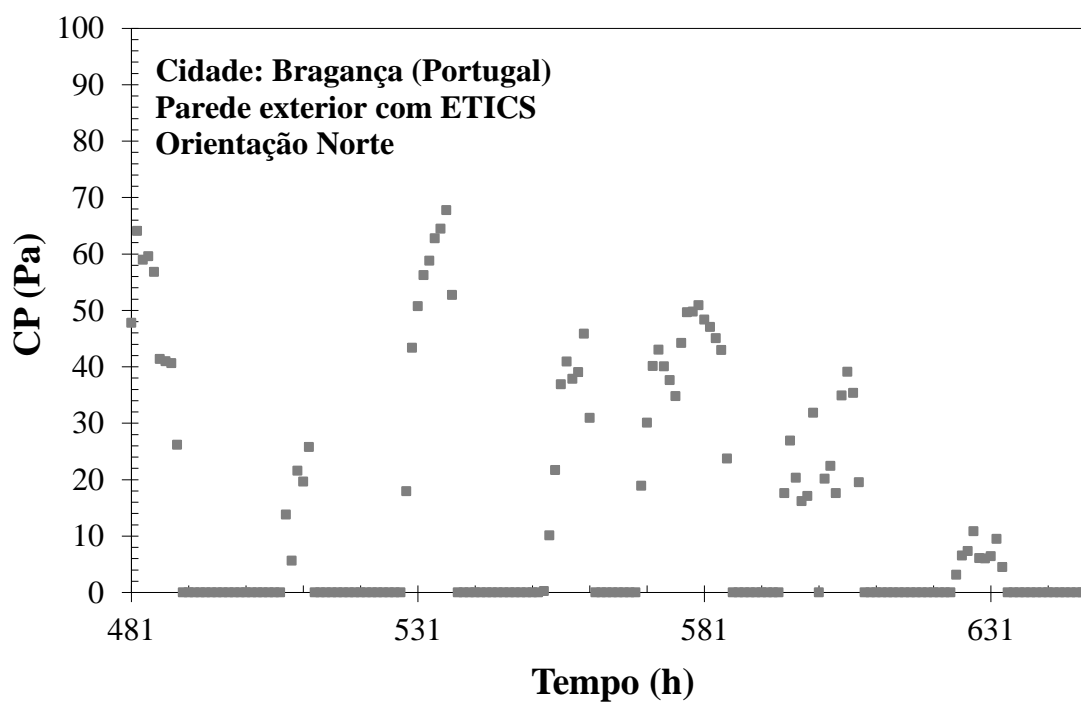


Figura 3. 12 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Bragança, orientação Norte

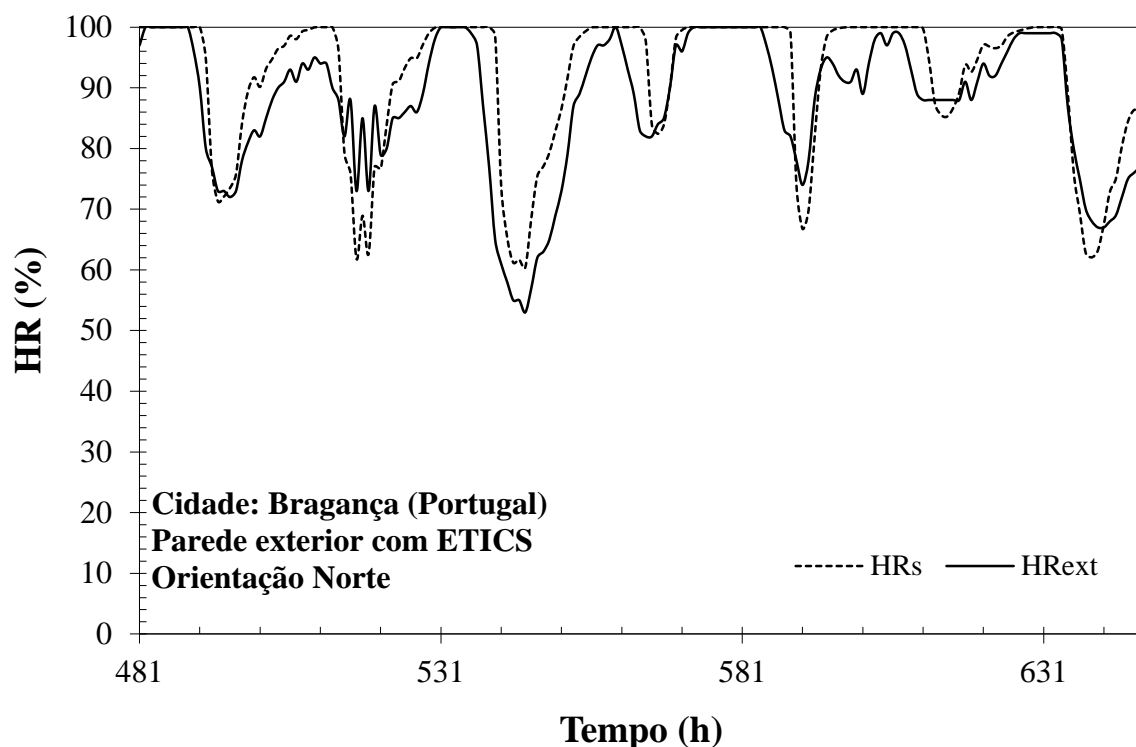


Figura 3. 13 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade de Bragança, orientação Norte

Na cidade de Bragança, orientação Norte, para a semana em estudo, verifica-se a ocorrência de condensações superficiais exteriores entre as 0 horas e as 9 horas do dia 21 de Janeiro, entre as 3 horas e as 8 horas do dia 22 de Janeiro, entre as 0 horas e as 9 horas do dia 23 de Janeiro, entre as 0 horas e as 9 horas do dia 24 de Janeiro, entre as 17 horas do dia 24 e as 9 horas do dia 25 de Janeiro, entre as 18 horas do dia 25 e as 0 horas do dia 26 de Janeiro, entre a 1 hora e as 8 horas do dia 26 de Janeiro e entre as 0 horas e as 9 horas do dia 27 de Janeiro. Nesta semana em estudo, o somatório do número de horas que foram registadas condensações superficiais exteriores foi 70.

A temperatura superficial exterior varia entre os  $-6,4^{\circ}\text{C}$  e os  $17,1^{\circ}\text{C}$ . O valor máximo do potencial de condensação para esta semana em estudo foi de  $67,73\text{ Pa}$  (Figura 3.11, Figura 3.12 e Figura 3.13).

Ao contrário do Porto, em Bragança ocorreram condensações todas as noites da semana em estudo, por períodos mais prolongados. No entanto, os valores horários de PC são bastante semelhantes nas duas cidades, sendo ligeiramente superiores no Porto, o que se deve a diferenças mais acentuadas entre a  $T_{po}$  e a  $T_s$ .

O terceiro caso a ser analisado corresponde à cidade de Lisboa, orientação Norte (Figura 3.14, Figura 3.15 e Figura 3.16).

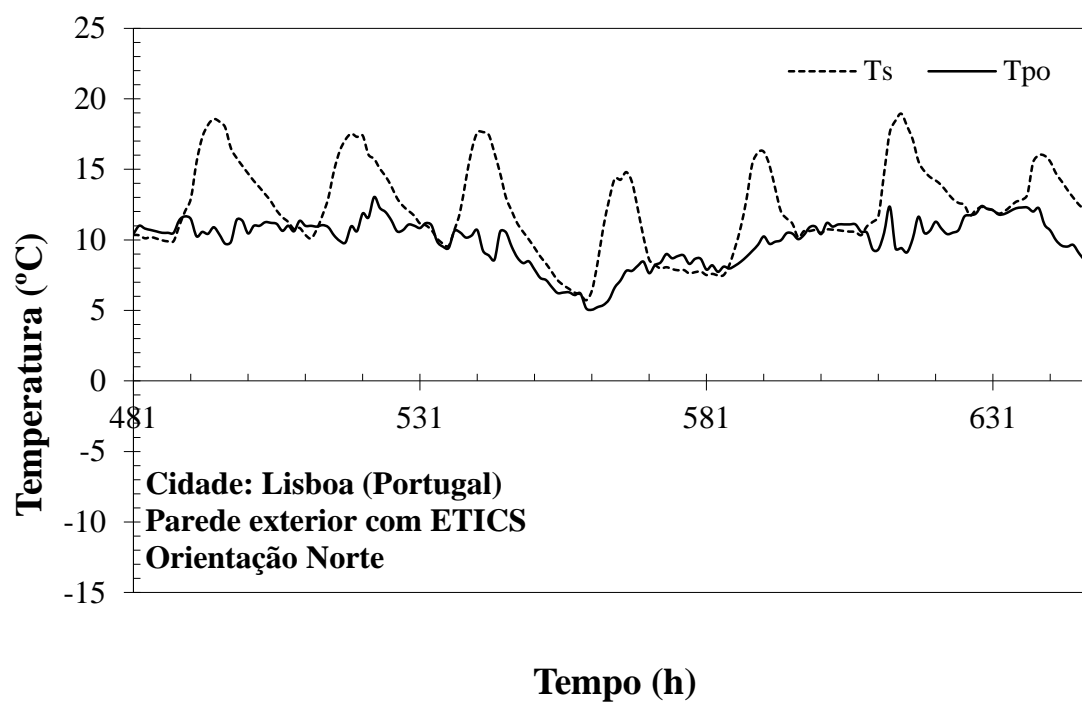


Figura 3. 14 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Lisboa, orientação Norte

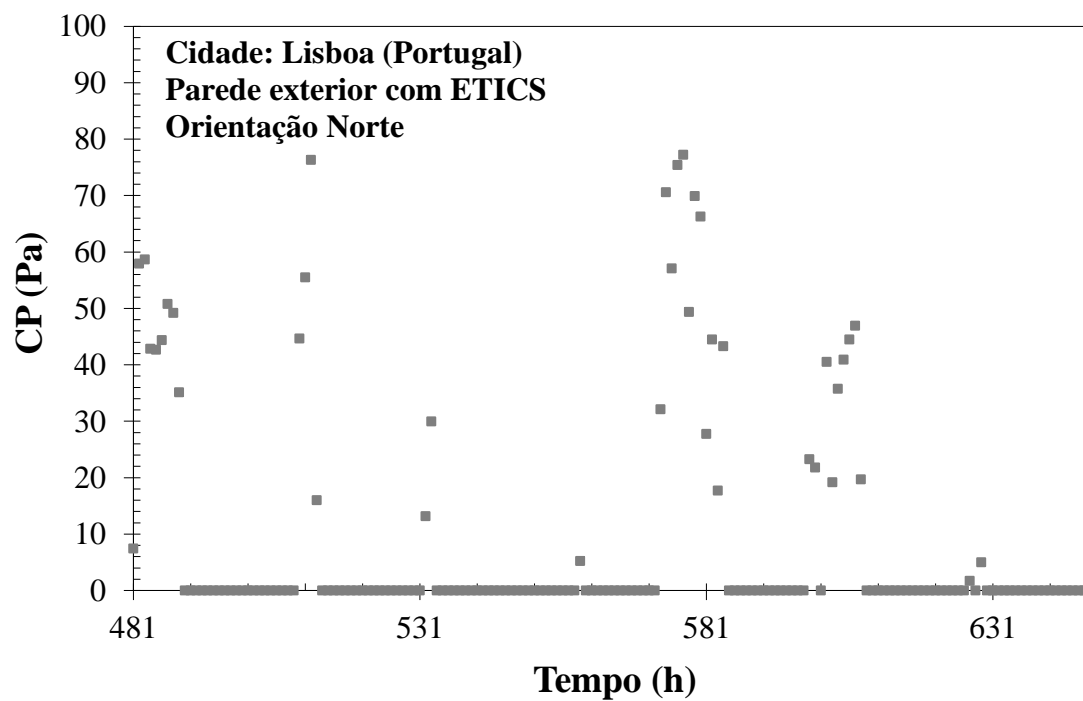


Figura 3. 15 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Lisboa, orientação Norte

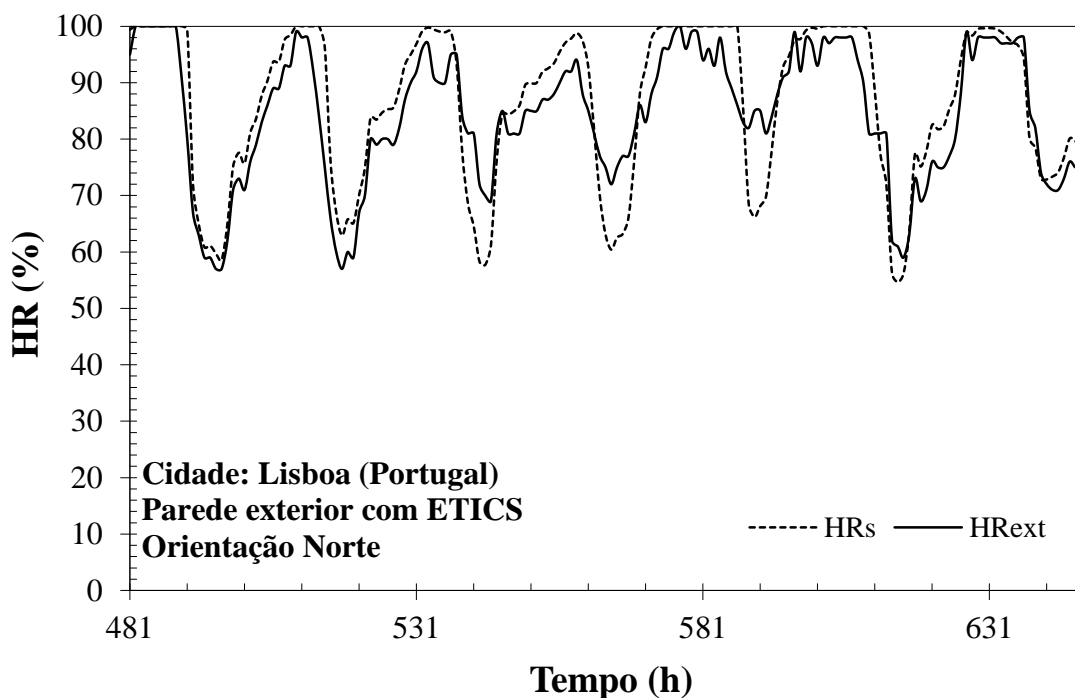


Figura 3. 16 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade de Lisboa, orientação Norte

Na cidade de Lisboa, orientação Norte, para a semana em estudo, verifica-se a ocorrência de condensações superficiais exteriores entre as 0 horas e as 9 horas do dia 21 de Janeiro, entre as 5 horas e as 9 horas do dia 22 de Janeiro, entre as 3 horas e as 5 horas do dia 23 de Janeiro, entre as 6 horas e as 7 horas do dia 24 de Janeiro, entre as 20 horas do dia 24 e as 8 horas do dia 25 de Janeiro, entre as 22 horas do dia 25 e as 0 horas do dia 26 de Janeiro, entre a 1 hora e as 8 horas do dia 26 de Janeiro, entre as 2 horas e as 3 horas do dia 27 de Janeiro e entre as 4 horas e as 5 horas do dia 27 de Janeiro. Nesta semana em estudo, o somatório do número de horas que foram registadas condensações superficiais exteriores foi 39.

A temperatura superficial exterior varia entre os 5,7°C e os 18,9°C. Quanto ao potencial de condensação, o valor máximo registado para esta semana em estudo foi de 77,21 Pa (Figura 3.14, Figura 3.15 e Figura 3.16).

Comparando os resultados obtidos para Lisboa com os obtidos para Porto e Bragança, pode concluir-se que, apesar de Lisboa apresentar condensações para todas as noites da semana em estudo, na 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> noite os valores obtidos são muito reduzidos, o que é também comprovado pelo facto da humidade relativa à superfície igualar os 100 % em períodos muito pontuais nessas noites. O Porto e Lisboa apresentam valores muito semelhantes para o número de horas em que ocorreram condensações, apesar de em Lisboa o PC máximo registado ser bastante inferior ao do Porto, o que poderá indicar que no Porto o fenómeno será mais gravoso durante esta semana. Bragança será contudo a cidade com mais problemas durante esta semana uma vez que, apesar de apresentar menores valores de PC, o número de horas em que ocorrem condensações é quase o dobro das outras cidades.

Em relação às capitais europeias que foram estudadas, o primeiro caso a ser analisado corresponde à cidade de Berlim, orientação Norte (Figura 3.17, Figura 3.18 e Figura 3.19).

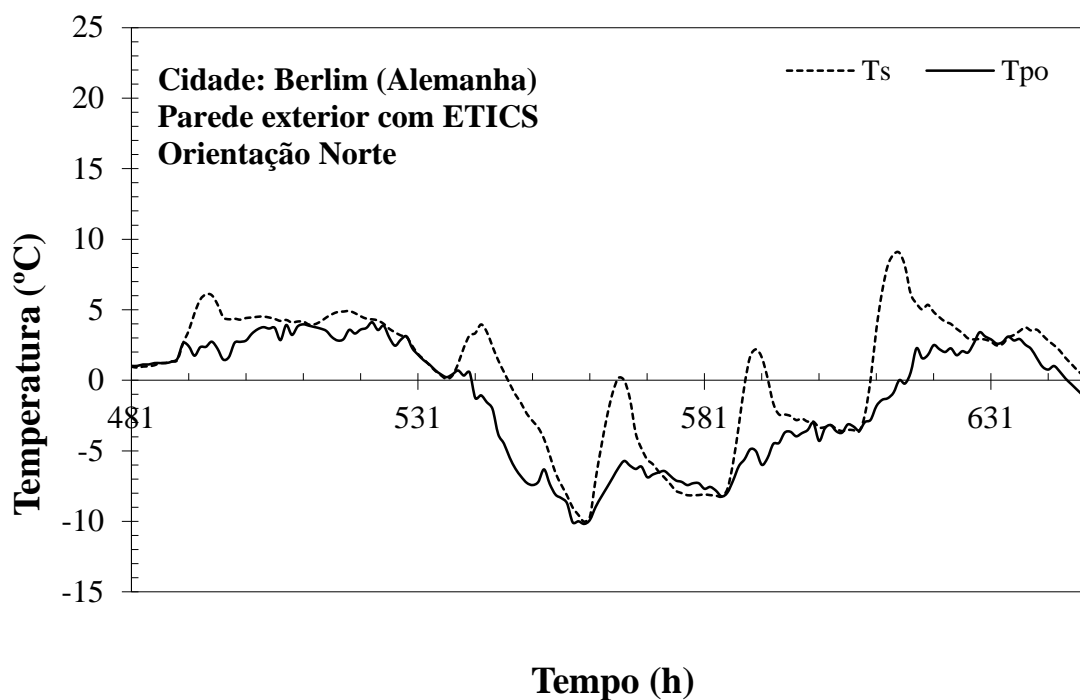


Figura 3. 17 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Berlim, orientação Norte

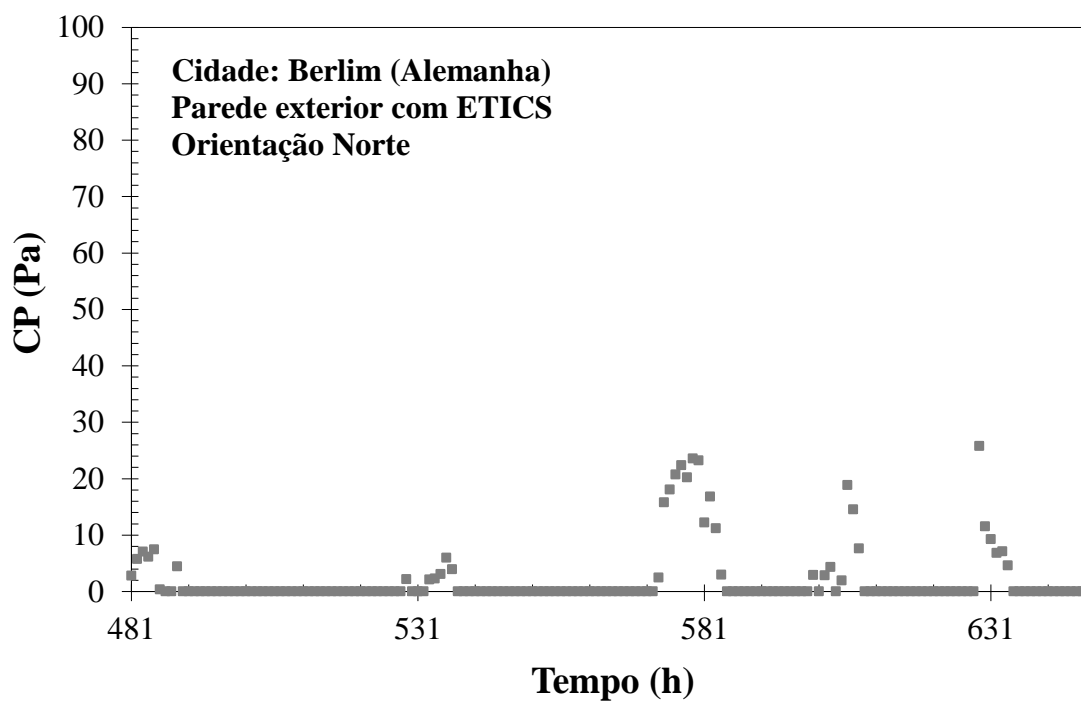


Figura 3. 18 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Berlim, orientação Norte

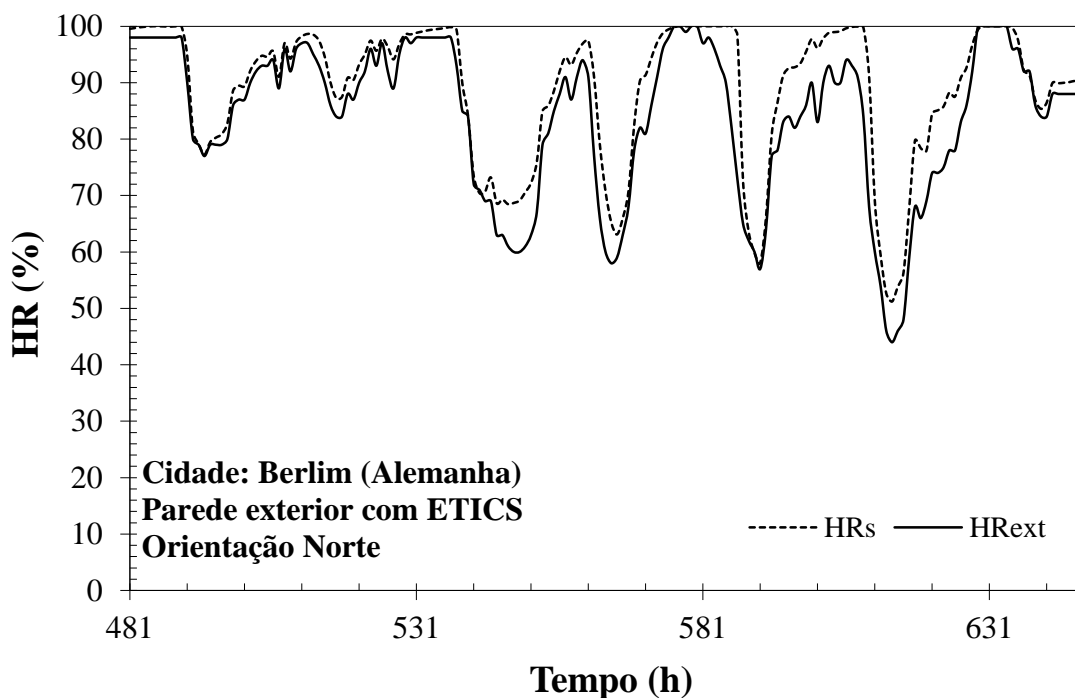


Figura 3. 19 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade de Berlim, orientação Norte

Na cidade de Berlim, orientação Norte, para a semana em estudo, verifica-se a ocorrência de condensações superficiais exteriores entre as 0 horas e as 6 horas do dia 21 de Janeiro, entre as 8 horas e as 9 horas do dia 21 de Janeiro, entre as 0 horas e a 1 hora do dia 23 de Janeiro, entre as 4 horas e as 9 horas do dia 23 de Janeiro, entre as 20 horas do dia 24 e as 8 horas do dia 25 de Janeiro, entre as 23 horas do dia 25 e as 0 horas do dia 26 de Janeiro, entre a 1 hora e as 3 horas do dia 26 de Janeiro, entre as 4 horas e as 8 horas do dia 26 de Janeiro e entre as 4 horas e as 10 horas do dia 27 de Janeiro. Nesta semana em estudo, o somatório do número de horas que foram registadas condensações superficiais exteriores foi 38.

A temperatura superficial exterior varia entre os  $-10^{\circ}\text{C}$  e os  $9^{\circ}\text{C}$ . Quanto ao potencial de condensação, o valor máximo registado para esta semana em estudo foi de 25,72 Pa (Figura 3.17, Figura 3.18 e Figura 3.19).

Comparando os resultados obtidos para a cidade de Berlim com os obtidos para as cidades portuguesas, verifica-se que as temperaturas superficiais e de ponto de orvalho são muito inferiores. O número de horas em que ocorrem condensações é muito semelhante ao do Porto e Lisboa, no entanto, os valores registados para o PC são muito inferiores, o que permitirá concluir que o fenómeno terá menos impacto em Berlim do que nas cidades portuguesas.

A segunda capital europeia a ser analisada corresponde à cidade de Londres, orientação Norte (Figura 3.20, Figura 3.21 e Figura 3.22).

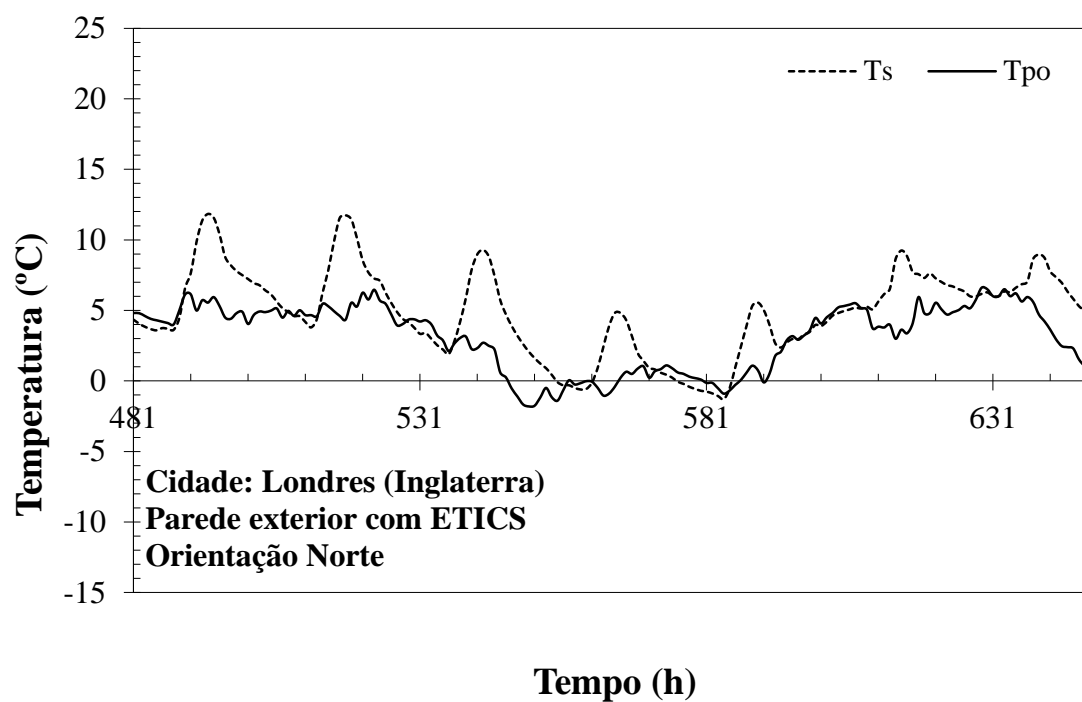


Figura 3. 20 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Londres, orientação Norte

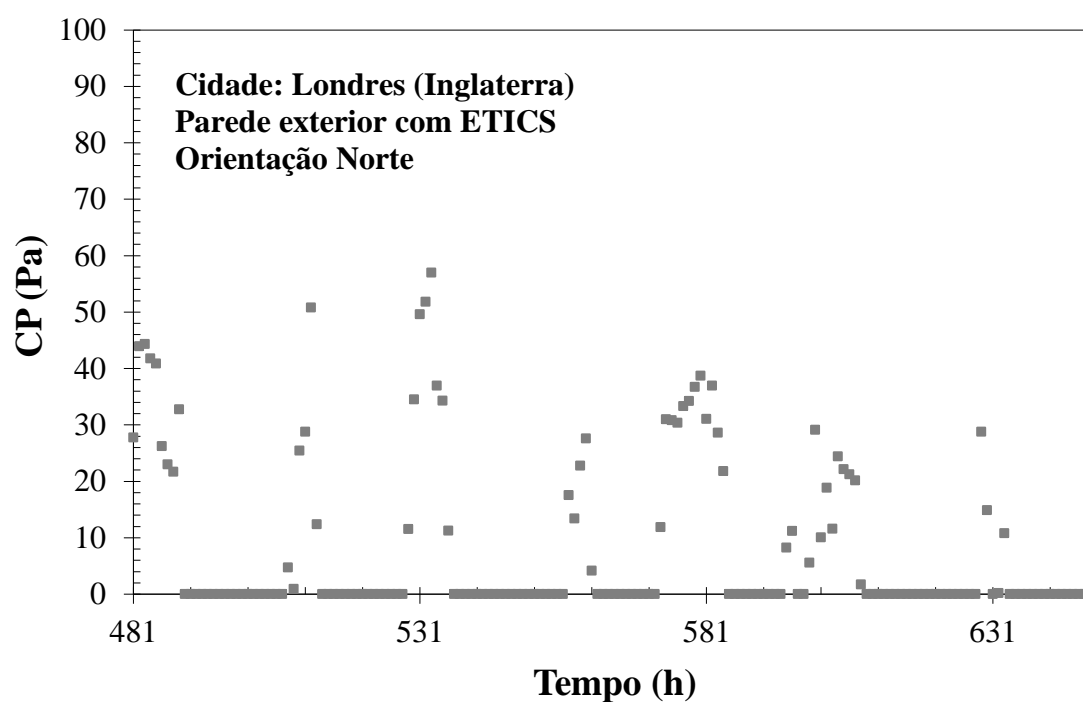


Figura 3. 21 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Londres, orientação Norte

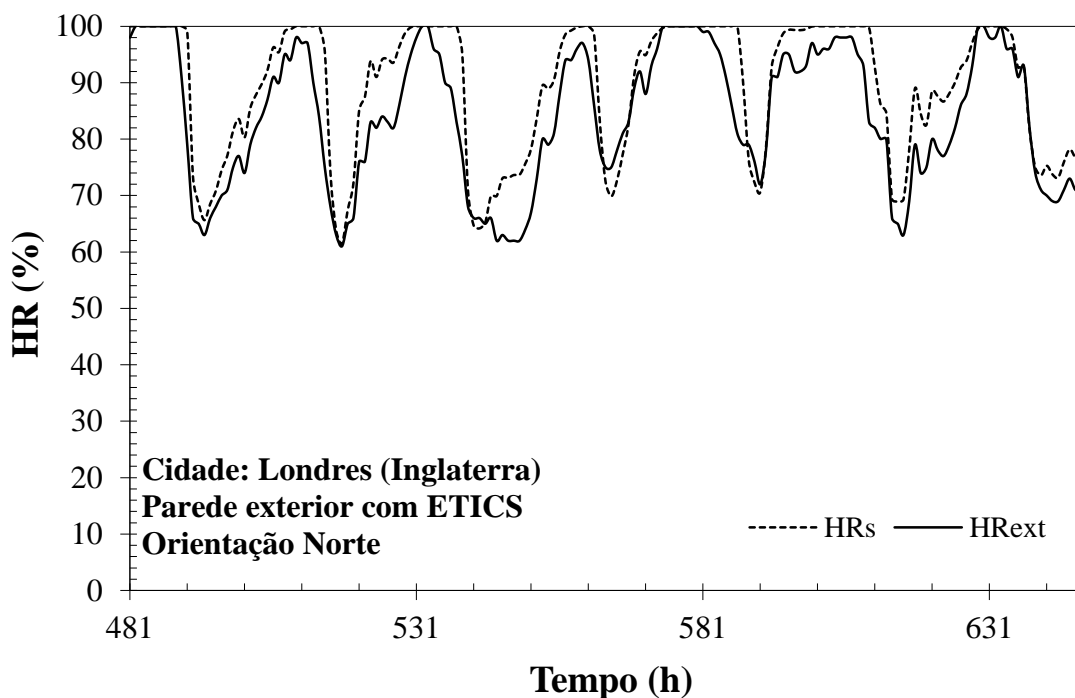


Figura 3. 22 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade de Londres, orientação Norte

Na cidade de Londres, orientação a Norte, para a semana em estudo, verifica-se a ocorrência de condensações superficiais exteriores entre as 0 horas e as 9 horas do dia 21 de Janeiro, entre as 3 horas e as 9 horas do dia 22 de Janeiro, entre as 0 horas e as 8 horas do dia 23 de Janeiro, entre as 4 horas e as 9 horas do dia 24 de Janeiro, entre as 20 horas do dia 24 e as 8 horas do dia 25 de Janeiro, entre as 18 horas e as 20 horas do dia 25, entre as 22 horas do dia 25 e as 8 horas do dia 26 de Janeiro, entre as 4 horas e as 6 horas do dia 27 de Janeiro e entre as 7 horas e as 9 horas do dia 27 de Janeiro. Nesta semana em estudo, o somatório do número de horas que foram registadas condensações superficiais exteriores foi 56.

A temperatura superficial exterior varia entre os  $-1,3^{\circ}\text{C}$  e os  $11,8^{\circ}\text{C}$ . Quanto ao potencial de condensação, o valor máximo registado para esta semana em estudo foi de 56,96 Pa (Figura 3.20, Figura 3.21 e Figura 3.22).

Comparando as cidades até agora analisadas, Londres parece ter um comportamento muito semelhante ao de Lisboa. Apesar de o número de horas em que ocorreram condensações ser ligeiramente superior a Lisboa, os valores de PC registados são ligeiramente inferiores, o que poderá traduzir-se num acumulado semanal muito semelhante.

A terceira capital europeia a ser analisada corresponde à cidade de Oslo, orientação Norte (Figura 3.23, Figura 3.24 e Figura 3.25).



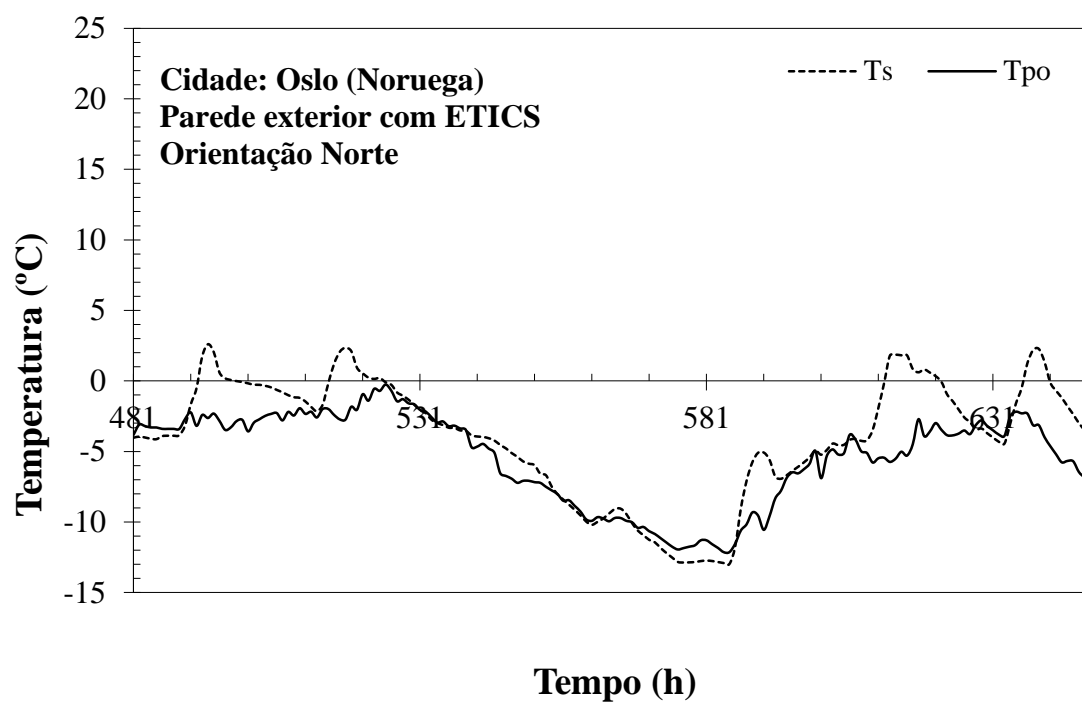


Figura 3. 23 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Oslo, orientação Norte

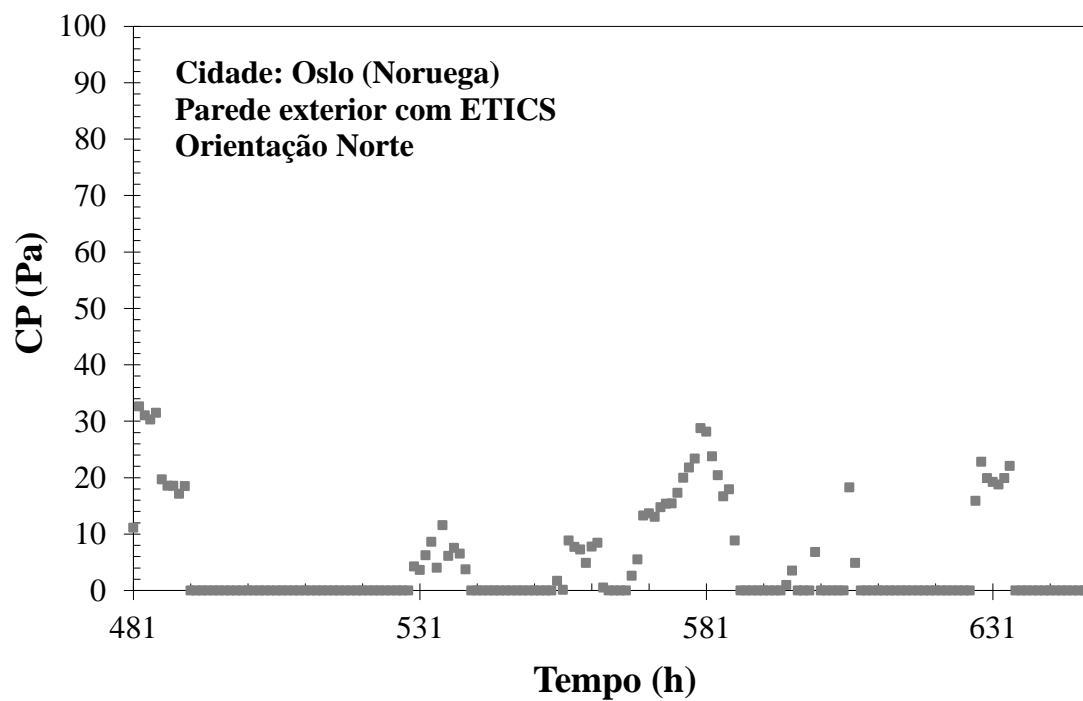


Figura 3. 24 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Oslo, orientação Norte

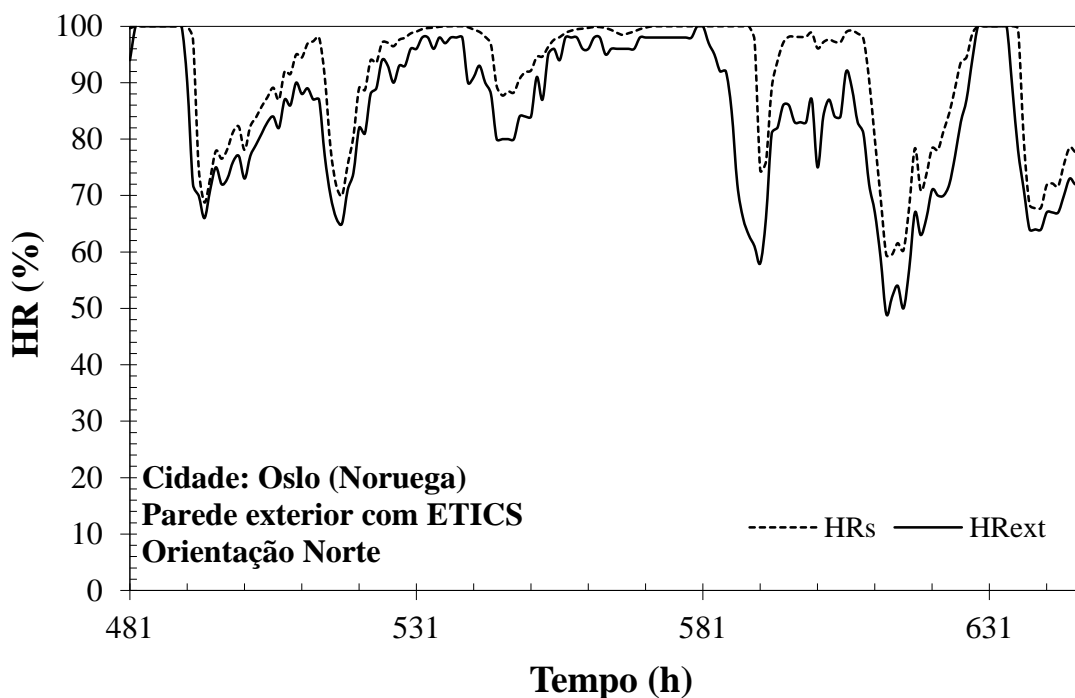


Figura 3. 25 - Variação horária da umidade relativa da superfície exterior e da umidade relativa do ar exterior, na cidade de Oslo, orientação Norte

Na cidade de Oslo, orientação Norte, para a semana em estudo, verifica-se a ocorrência de condensações superficiais exteriores entre as 0 horas e as 10 horas do dia 21 de Janeiro, entre a 1 hora e as 11 horas do dia 23 de Janeiro, entre as 2 horas e as 11 horas do dia 24 de Janeiro, entre as 15 horas do dia 24 e as 10 horas do dia 25 de Janeiro, entre as 18 horas e as 20 horas do dia 25 de Janeiro, entre as 23 horas do dia 25 e as 0 horas do dia 26 de Janeiro, entre as 5 horas e as 7 horas do dia 26 de Janeiro e entre as 3 horas e as 10 horas do dia 27 de Janeiro. Nesta semana em estudo, o somatório do número de horas que foram registadas condensações superficiais exteriores foi 60.

A temperatura superficial exterior varia entre os  $-13^{\circ}\text{C}$  e os  $2,6^{\circ}\text{C}$ . Quanto ao potencial de condensação, o valor máximo registado para esta semana em estudo foi de 32,59 Pa (Figura 3.23, Figura 3.24 e Figura 3.25).

Oslo é a cidade que apresenta os valores mais baixos da temperatura superficial e da temperatura de ponto de orvalho. Apresenta um comportamento muito semelhante ao de Berlim, eventualmente ligeiramente mais gravoso, porque o número de horas em que ocorrem condensações é ligeiramente superior. Convém referir que neste cenário, tal como no de Berlim, apesar de se verificar a ocorrência de condensações, a probabilidade de se desenvolverem microrganismos nas fachadas é muito reduzida devido às baixas temperaturas verificadas.

A quarta capital europeia a ser analisada corresponde à cidade de Roma, orientação Norte (Figura 3.26, Figura 3.27 e Figura 3.28).

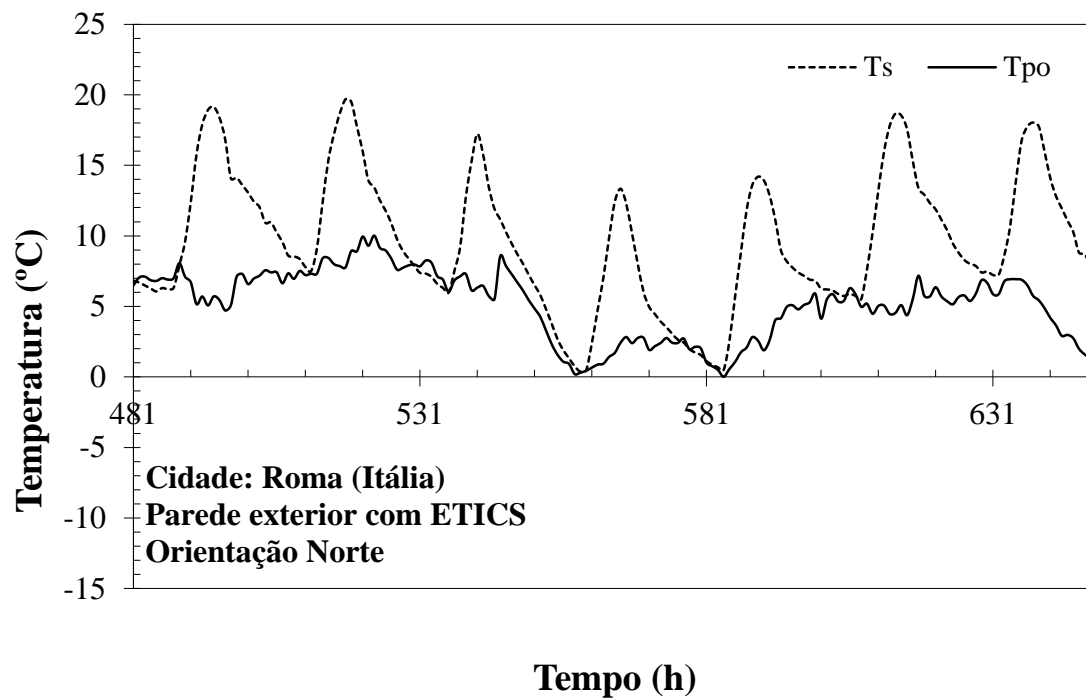


Figura 3. 26 - Variação horária da temperatura de ponto de orvalho do ar exterior e da temperatura superficial exterior, na cidade de Roma, orientação Norte

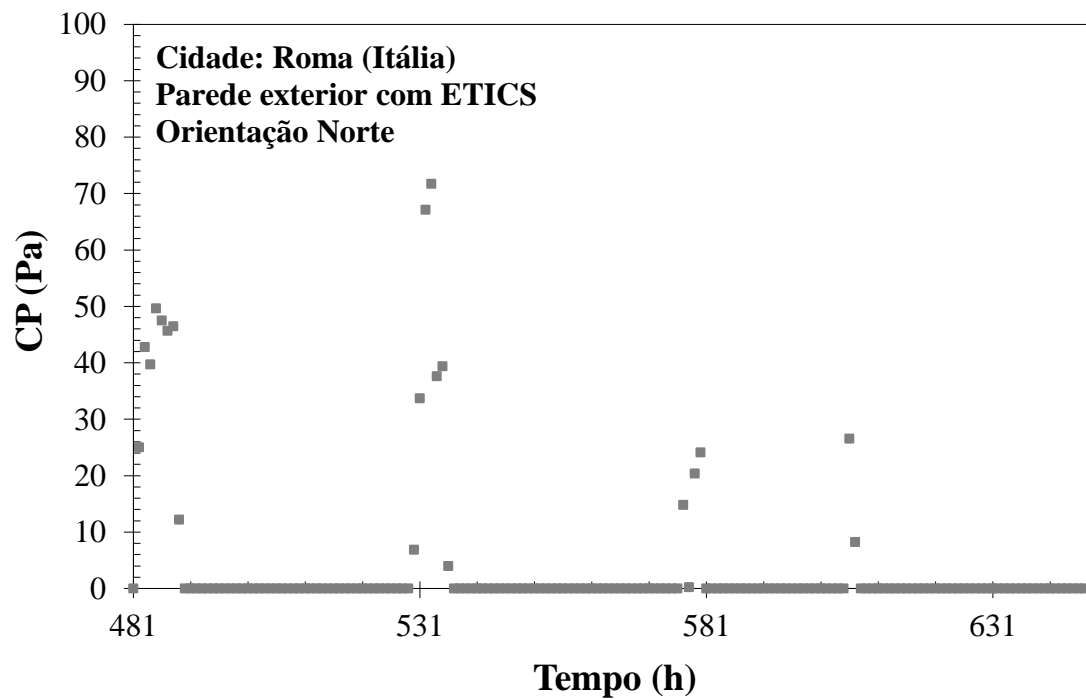


Figura 3. 27 - Variação horária do potencial de condensação positivo, na cidade de Roma, orientação Norte

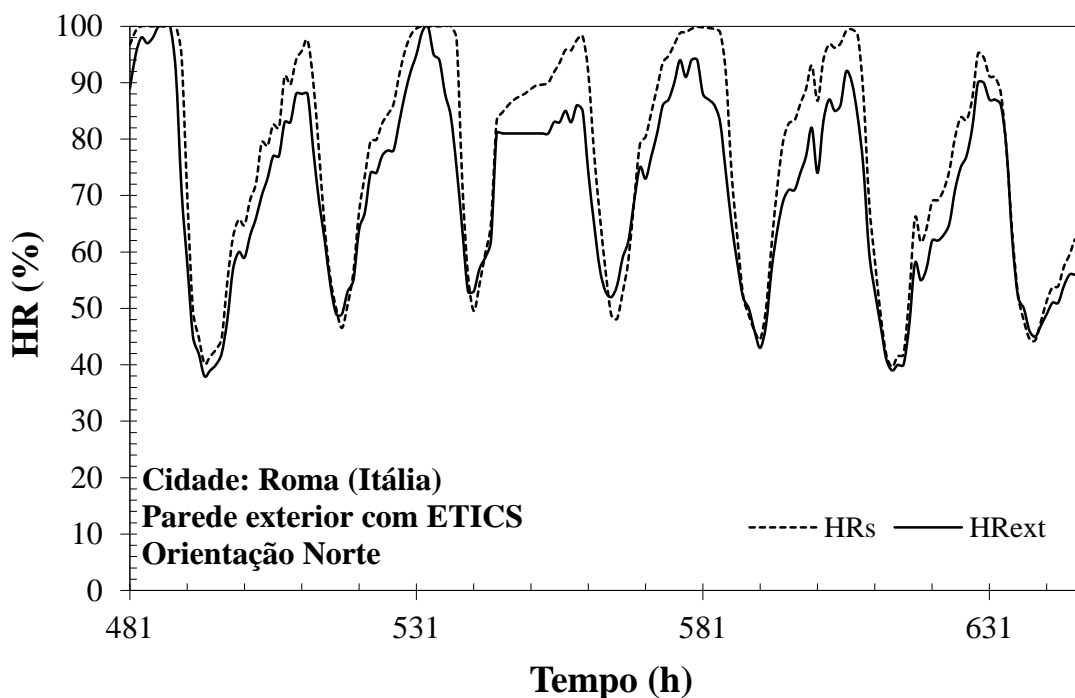


Figura 3. 28 - Variação horária da humidade relativa da superfície exterior e da humidade relativa do ar exterior, na cidade de Roma, orientação Norte

Na cidade de Roma, orientação Norte, para a semana em estudo, verifica-se a ocorrência de condensações superficiais exteriores entre a 1 hora e as 9 horas do dia 21 de Janeiro, entre a 1 hora e as 8 horas do dia 23 de Janeiro, entre as 0 horas e as 4 horas do dia 25 de Janeiro e entre as 5 horas e as 7 horas do dia 26 de Janeiro. Nesta semana em estudo, o somatório do número de horas que foram registadas condensações superficiais exteriores foi 21.

A temperatura superficial exterior varia entre os 0,4°C e os 19,7°C. Quanto ao potencial de condensação, o valor máximo registado para esta semana em estudo foi de 71,71 Pa (Figura 3.26, Figura 3.27 e Figura 3.28).

Das diferentes cidades estudadas, Roma é a que apresenta um comportamento menos gravoso, uma vez que não só tem menor número de horas em que ocorrem condensações como também tem valores relativamente baixos de PC.

Dos 7 climas estudados, para a semana de 21 a 27 de Janeiro, Roma é a cidade que apresenta o maior valor para a temperatura superficial exterior (19,7°C), enquanto Oslo é a cidade que apresenta o menor valor para esse parâmetro (-13°C). Relativamente ao potencial de condensação, o maior valor registado foi na cidade do Porto (90,18 Pa), enquanto o menor máximo está associado à cidade de Berlim (25,72 Pa). O caso de estudo com maior número de horas com condensações superficiais exteriores corresponde à cidade de Bragança (70h) e o que tem menor número de horas é Roma (21h). O horário tipo de ocorrência de condensações é essencialmente durante a noite e parte de manhã, sendo Oslo a única cidade em que ocorreram condensações durante o início da tarde.

A Tabela 3.5 mostra uma análise anual dos valores horários das 7 cidades escolhidas. Foi calculada, para cada clima e orientação, a temperatura superficial exterior máxima, mínima e média, o potencial de condensação máximo, médio e correspondente aos percentis de 90% e de 10 %, assim como o somatório do número de horas com potencial de condensação positivo.

Tabela 3. 5 – Tabela resumo dos parâmetros anuais calculados para cada cidade e orientação

Parâmetros	Porto (Norte)	Bragança	Lisboa	Berlim	Londres	Oslo	Roma
T <sub>s,max</sub>	36,9	36,8	38,9	34,7	30,6	29,1	38
T <sub>s,min</sub>	1,4	-6,4	3,8	-17,4	-4,8	-19,4	-2,6
T <sub>s,med</sub>	14,9	12,3	16,8	9,1	10,6	5	15,6
PC>0,90%	61,3	52	63,2	38	45,2	33,2	62,5
PC>0,max	119	99,1	112,5	89,6	104,1	77,7	117,3
PC>0,med	30,9	26,1	31,9	16,3	20,4	17,4	30,2
PC>0,10%	5,2	4,7	5	2,1	3,1	3,3	4,2
hPC>0	810	898	493	801	807	1059	652

Como se pode constatar na Tabela 3.5, a temperatura superficial exterior máxima é relativamente parecida para as cidades portuguesas e Roma, sendo superior em Lisboa e inferior em Oslo. As temperaturas mínimas são mais baixas em Oslo e mais elevadas em Lisboa. Em média Lisboa e Roma apresentam os valores mais elevados e Oslo e Berlim os mais baixos. Também se pode verificar que o potencial de condensação positivo máximo corresponde à cidade do Porto, enquanto que o potencial de condensação positivo médio é superior para a cidade de Lisboa. Quanto ao somatório do número de horas com potencial de condensação positivo, Oslo foi a cidade que apresentou o maior valor, enquanto que Lisboa foi a que apresentou o menor.

Para avaliar a ocorrência anual de condensações e tentar definir quais destas cidades apresentam mais problemas do ponto de vista da ocorrência de condensações, é necessário considerar o número de horas com potencial de condensação positivo e o valor médio do potencial de condensação positivo, para o ano em estudo. Comparando o valor médio do potencial de condensação positivo, verifica-se que o Porto, Lisboa e Roma têm valores muito semelhantes e o mais elevado das 7 cidades em estudo. Também os valores de potencial de condensação máximo e correspondentes aos percentis de 90% e de 10 % são muito semelhantes. No entanto, o Porto apresenta maior número de horas com potencial de condensação positivo, seguindo-se Roma e Lisboa. Por esta razão, é possível afirmar que o Porto apresenta o clima mais gravoso destas três cidades e Lisboa o menos gravoso.

Bragança apresenta um valor mais baixo da média do potencial de condensação positivo do que Porto, Lisboa e Roma, no entanto, como o número de horas em que ocorrem condensações é muito elevado, poderá ser uma das cidades com mais problemas, juntamente com o Porto.

Também Oslo, apesar de apresentar um dos menores valores da média do potencial de condensação positivo, poderá ser das cidades mais gravosas, porque o número de horas em que ocorrem condensações é o mais elevado das sete cidades analisadas. Berlim e Londres serão das sete cidades analisadas as que menos problemas de condensações apresentarão uma vez que o número de horas em

que ocorrem condensações é relativamente reduzido, em relação às outras cidades e o valor médio do potencial de condensação positivo também é dos mais baixos.

### 3.3.3. AVALIAÇÃO ANUAL

Para a avaliação anual dos climas estudados foram definidos os acumulados mensais e a respetiva média anual dos potenciais de condensação positivos, bem como o acumulado mensal e anual do número de horas em que a humidade relativa da superfície exterior iguala os 100 %. Serão apresentados os resultados obtidos para as 15 cidades estudadas (Figuras 3.29 a 3.58).

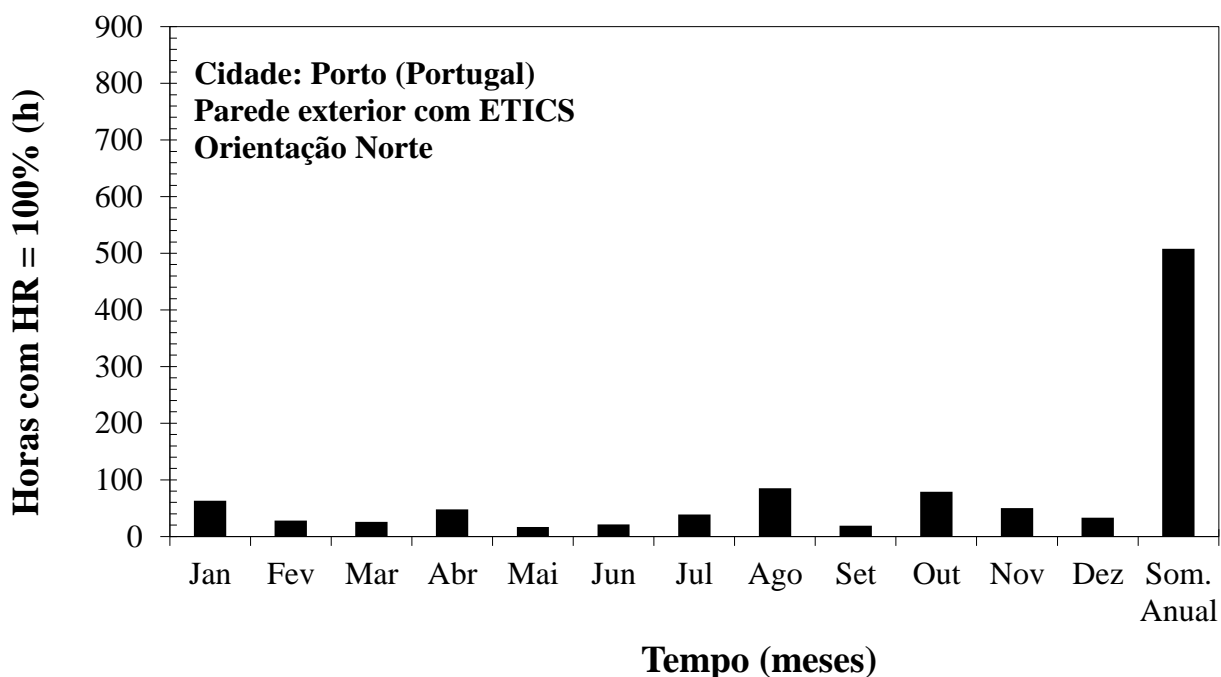


Figura 3. 29 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, no Porto, orientação Norte

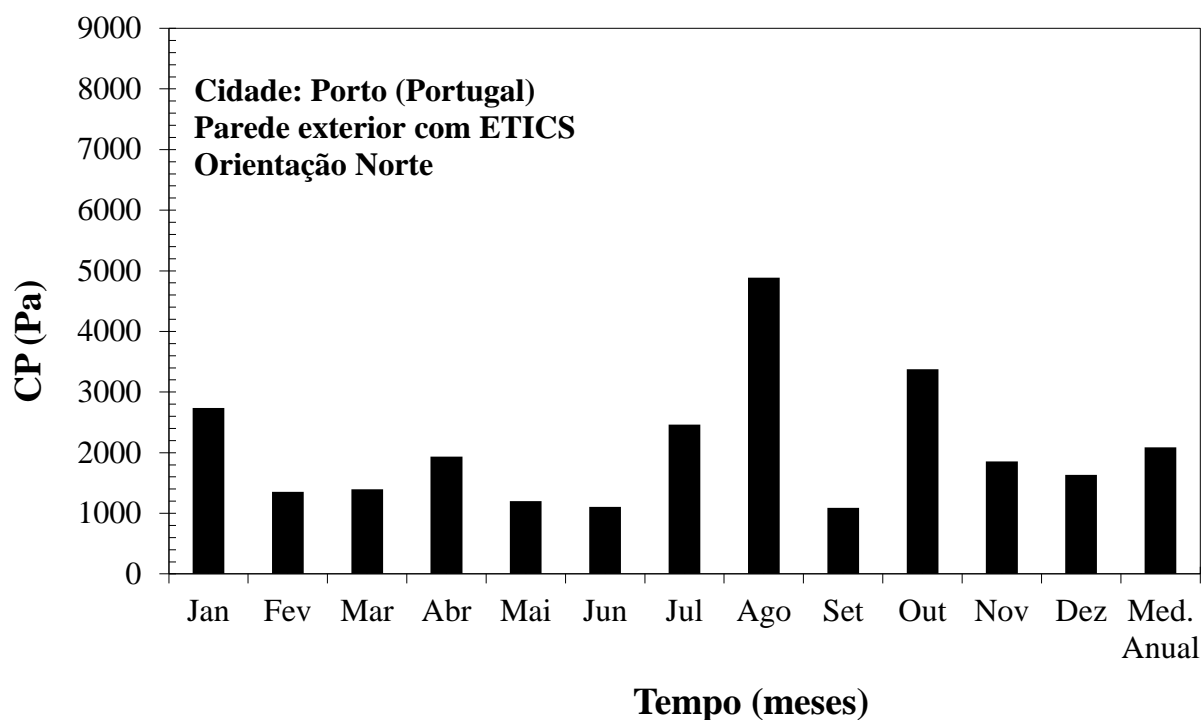


Figura 3. 30 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, no Porto, orientação Norte

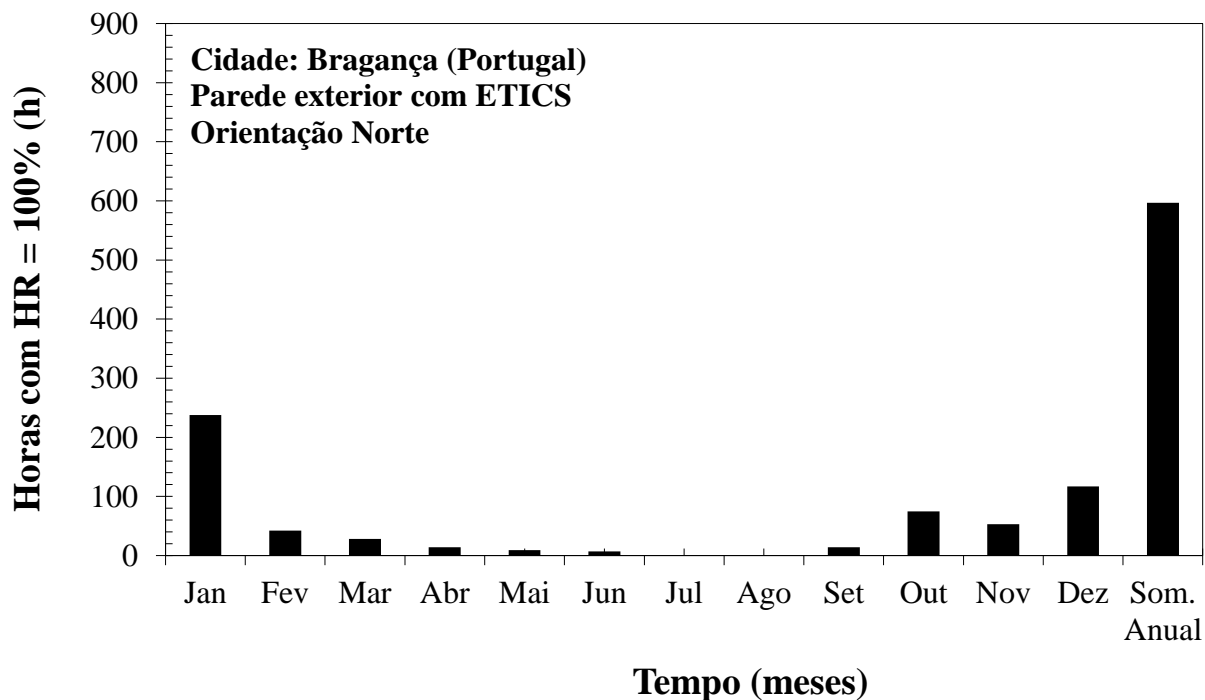


Figura 3. 31 - Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Bragança, orientação Norte

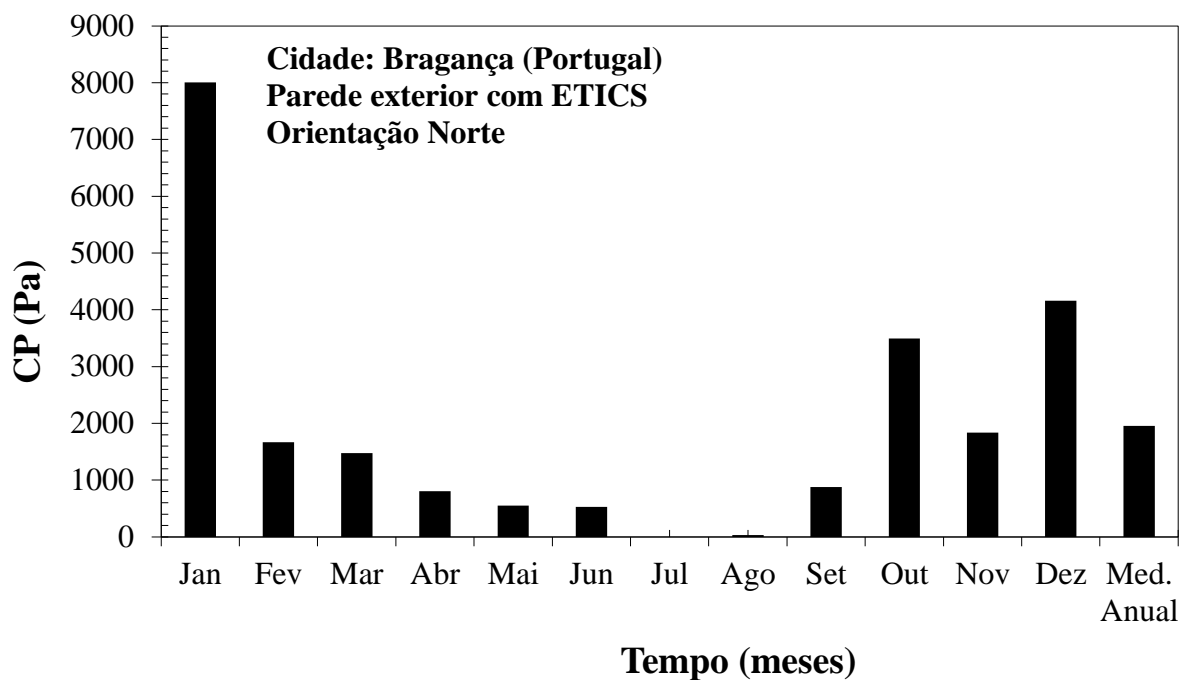


Figura 3. 32 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Bragança, orientação Norte

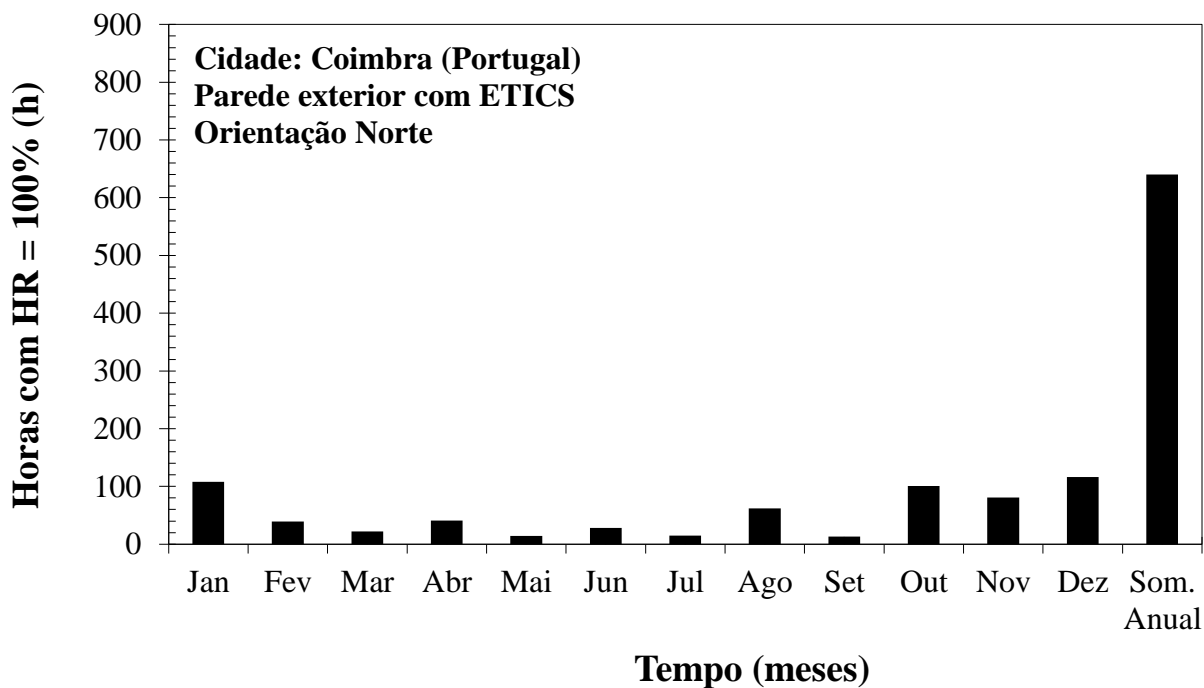


Figura 3. 33 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Coimbra, orientação Norte



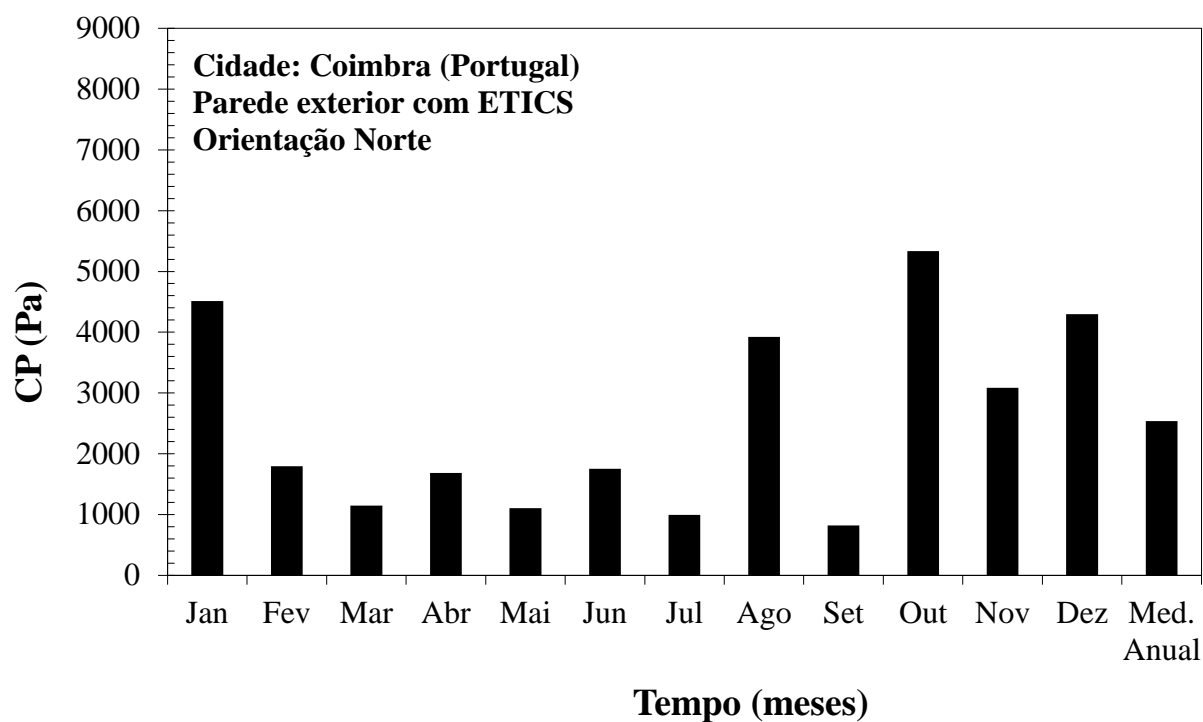


Figura 3. 34 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Coimbra, orientação Norte

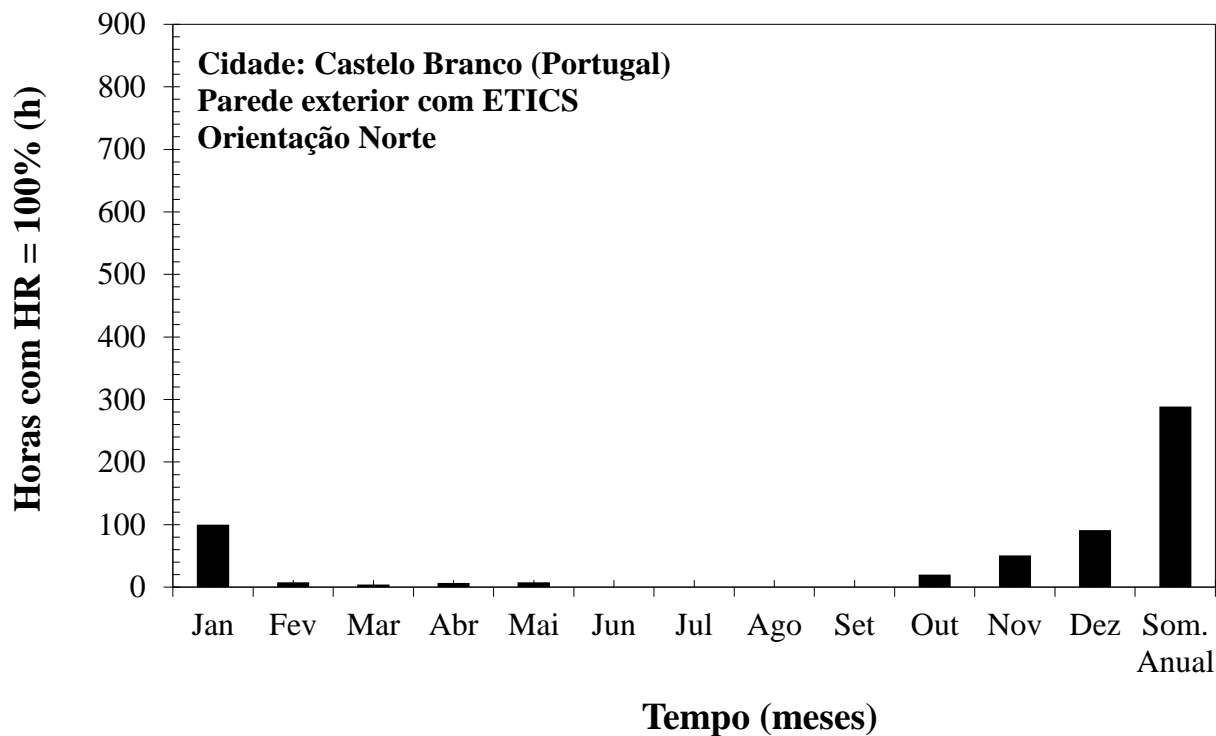


Figura 3. 35 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Castelo Branco, orientação Norte

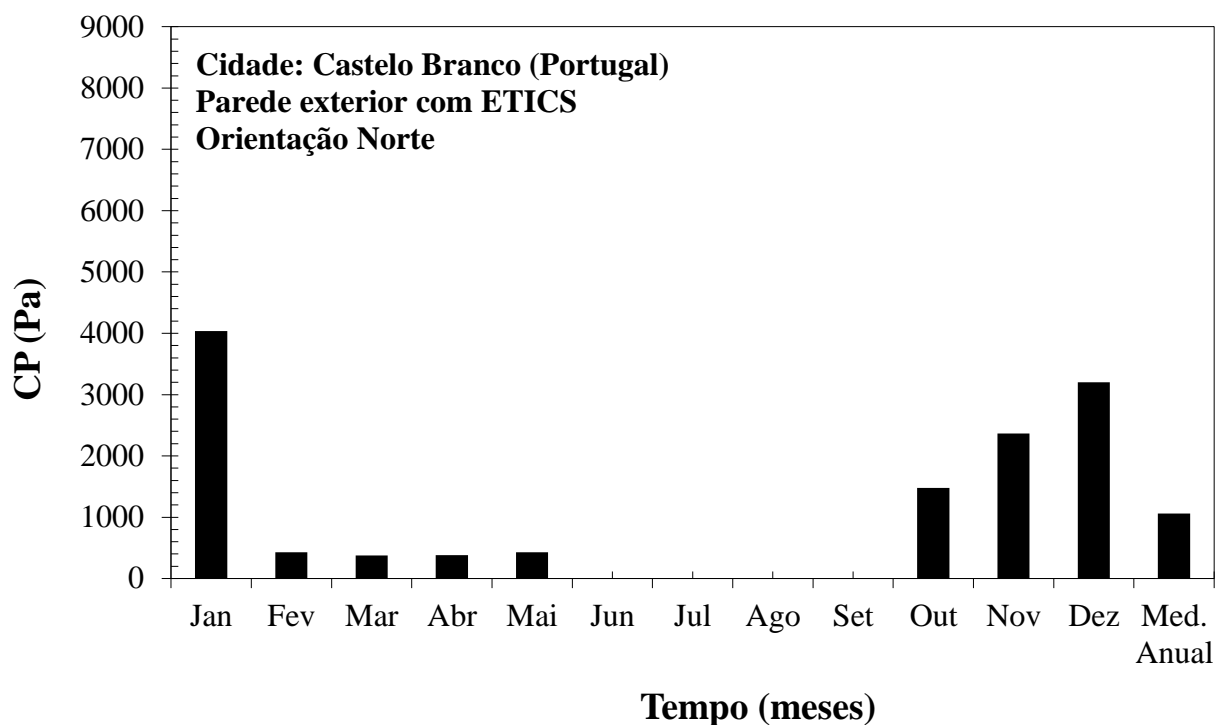


Figura 3. 36 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Castelo Branco, orientação Norte

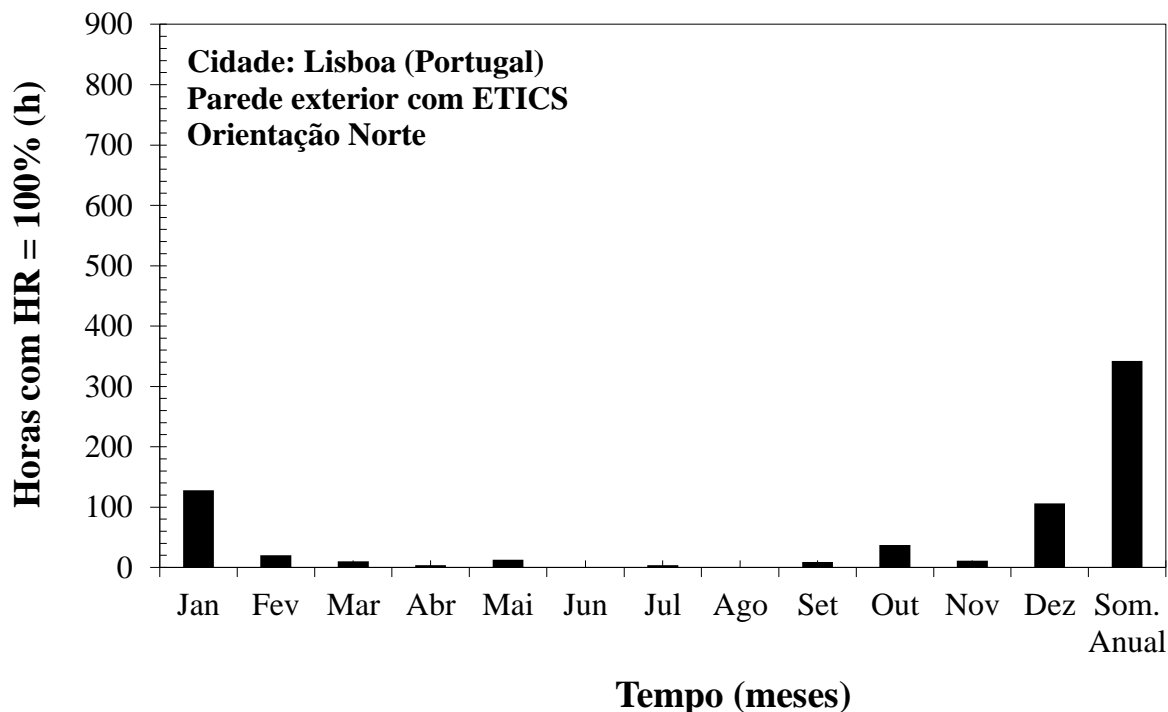


Figura 3. 37 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Lisboa, orientação Norte

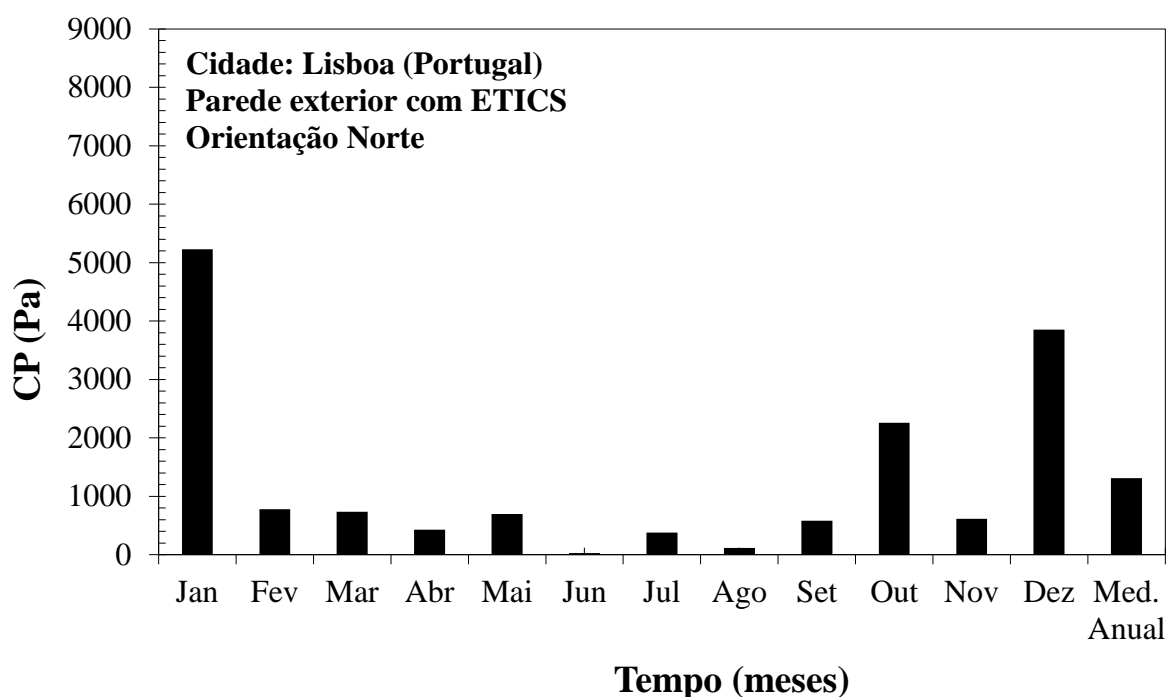


Figura 3. 38 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Lisboa, orientação Norte

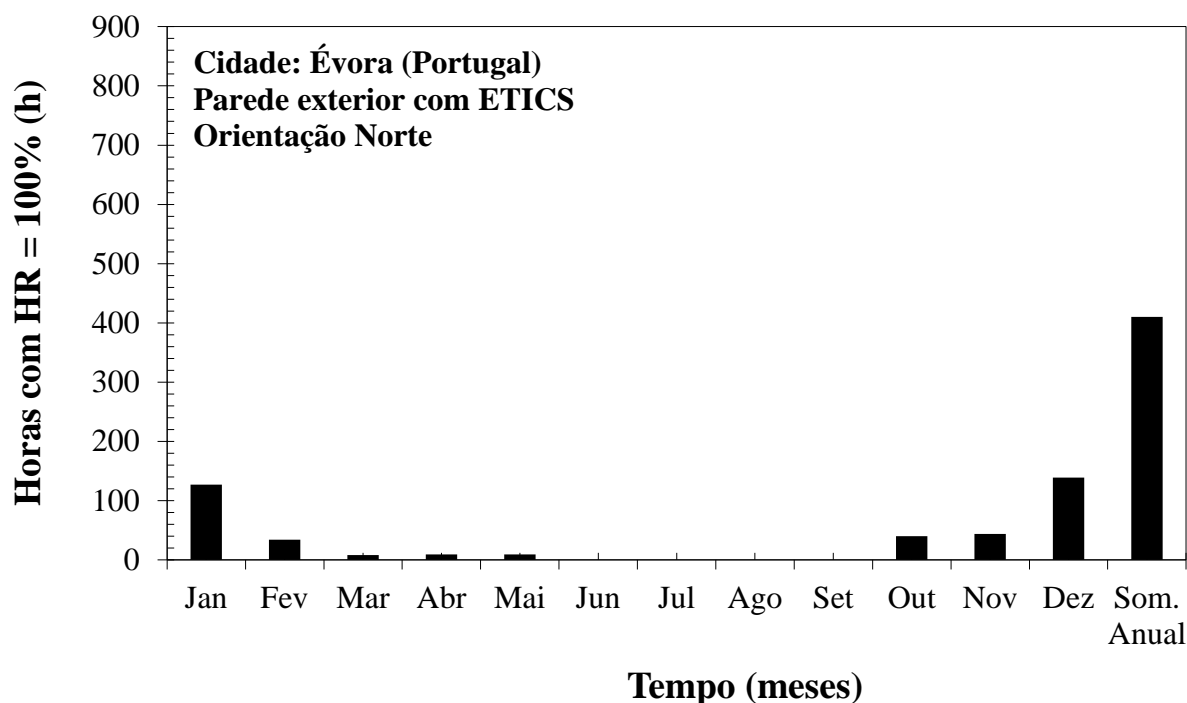


Figura 3. 39 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Évora, orientação Norte

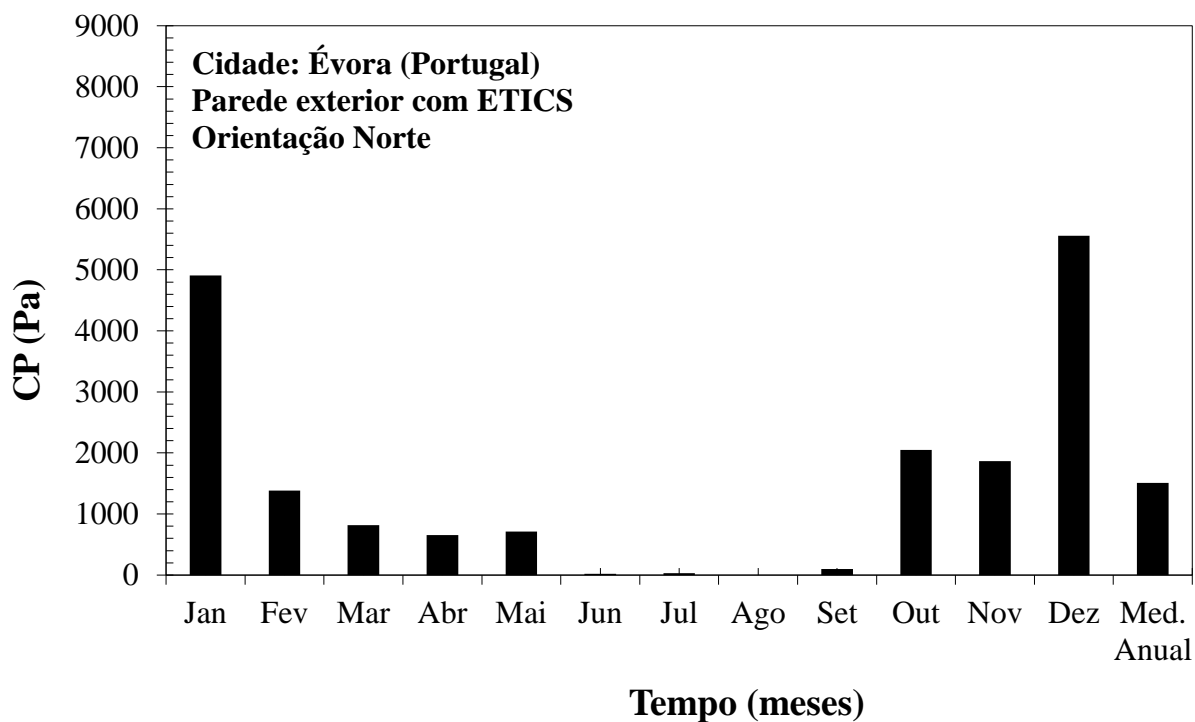


Figura 3. 40 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Évora, orientação Norte

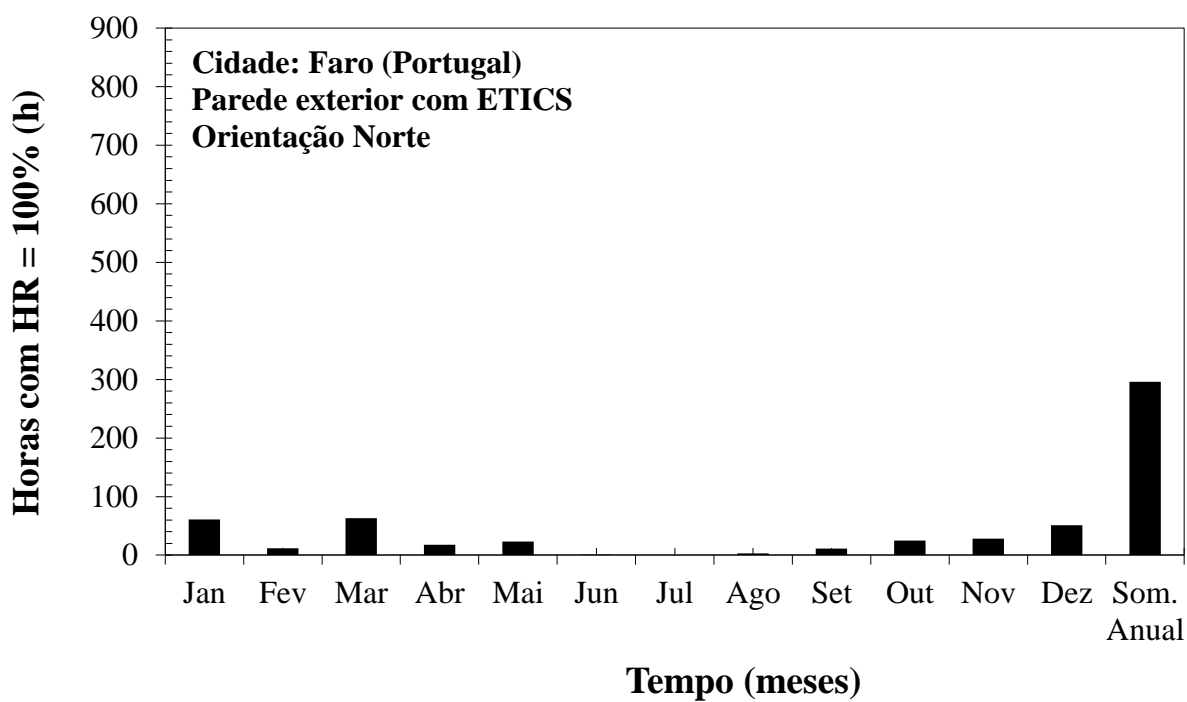


Figura 3. 41 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Faro, orientação Norte

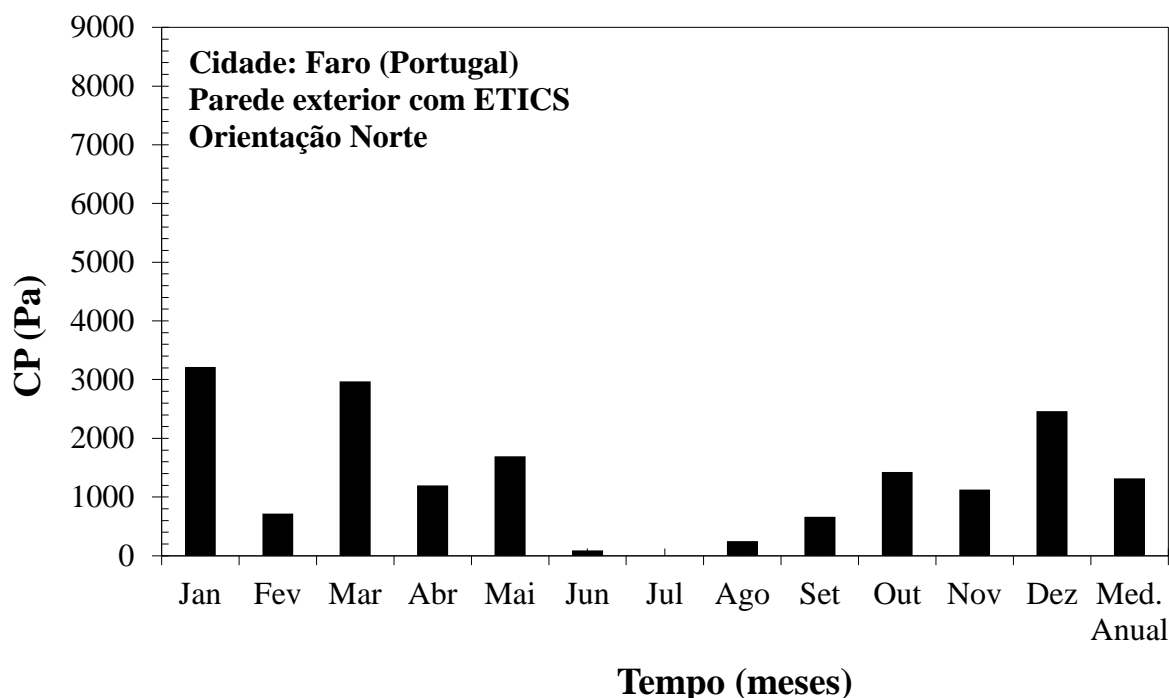


Figura 3. 42 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Faro, orientação Norte

Fazendo uma análise comparativa entre os vários climas portugueses, considerando a orientação Norte é possível concluir que, relativamente ao número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, a cidade que registou o maior número de horas num dado mês foi a cidade de Bragança, com 238 horas no mês de Janeiro, enquanto que a cidade que registou o menor número de horas desse parâmetro (não considerando valores nulos) num dado mês foi a cidade de Faro, com 1 hora no mês de Junho. Quanto ao somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, o maior valor corresponde à cidade de Coimbra, com 640 horas, enquanto que o menor valor foi obtido para Castelo Branco, com 289 horas. É importante referir que algumas cidades apresentaram meses com valores nulos do parâmetro em questão. Exemplo disso foram as cidades de Castelo Branco, com 4 meses (Junho, Julho, Agosto e Setembro), Évora, com 4 meses (Junho, Julho, Agosto e Setembro), Bragança, com 2 meses (Julho e Agosto), Lisboa, com 2 meses (Junho e Agosto) e Faro, com 1 mês (Julho).

No que diz respeito ao valor acumulado do potencial de condensação positivo, a cidade que registou o maior valor num dado mês foi a cidade de Bragança, com 8005,41 Pa no mês de Janeiro, enquanto que a cidade que registou o menor valor foi a cidade de Évora, com 20,03 Pa no mês de Junho. Já a média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo é mais elevado para a cidade de Coimbra, com 2537,5 Pa, e mais baixo para a cidade de Castelo Branco, com 1058,2 Pa. No estudo deste parâmetro também se verificaram valores nulos em certos meses. As cidades que apresentaram valores nulos e os respetivos meses foram Castelo Branco, com 4 meses (Junho, Julho, Agosto e Setembro), Bragança, com 1 mês (Julho), Évora, com 1 mês (Agosto) e Faro, com 1 mês (Julho).

Relativamente à tendência da variação dos acumulados é possível concluir que o Porto e Coimbra apresentam uma tendência linear, isto é, a ocorrência de condensações ao longo do ano mantém-se mais ou menos constante, com os meses de verão, de Julho e Agosto, a apresentarem valores mais próximos dos verificados nos restantes meses do ano do acumulado do potencial de condensação positivo.

As restantes cidades apresentam uma tendência exponencial do 2º grau, resultante dos acumulados mensais serem superiores nos meses de outono e inverno e praticamente nulos nos meses de verão.

Os gráficos dos acumulados mensais do número de horas em que a humidade relativa da superfície exterior iguala os 100 % apresentam tendências semelhantes aos do acumulado mensal do potencial de condensação positivo.

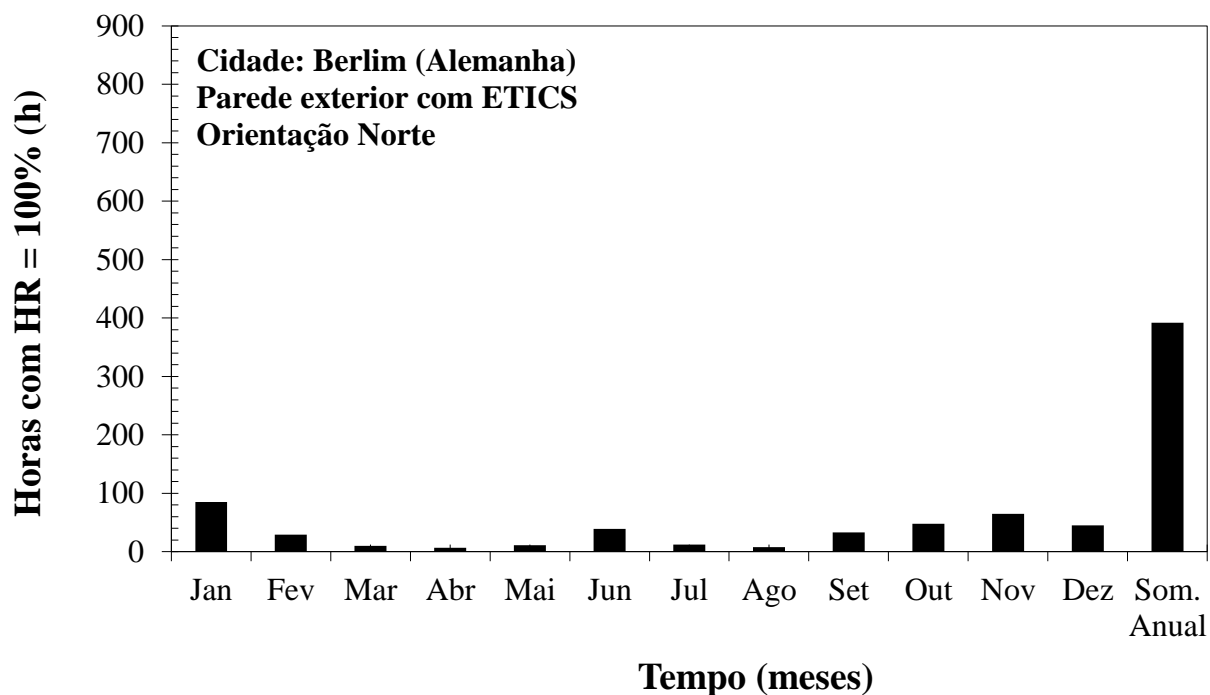


Figura 3. 43 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Berlim, orientação Norte

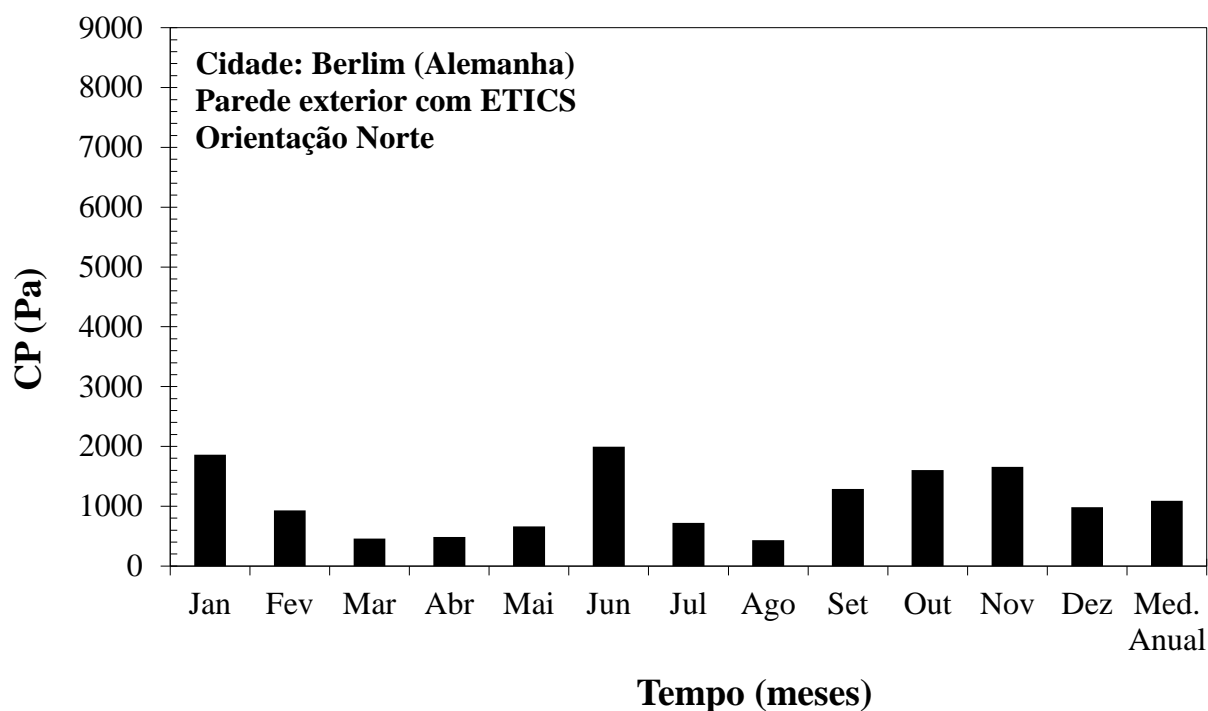


Figura 3. 44 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Berlim, orientação Norte

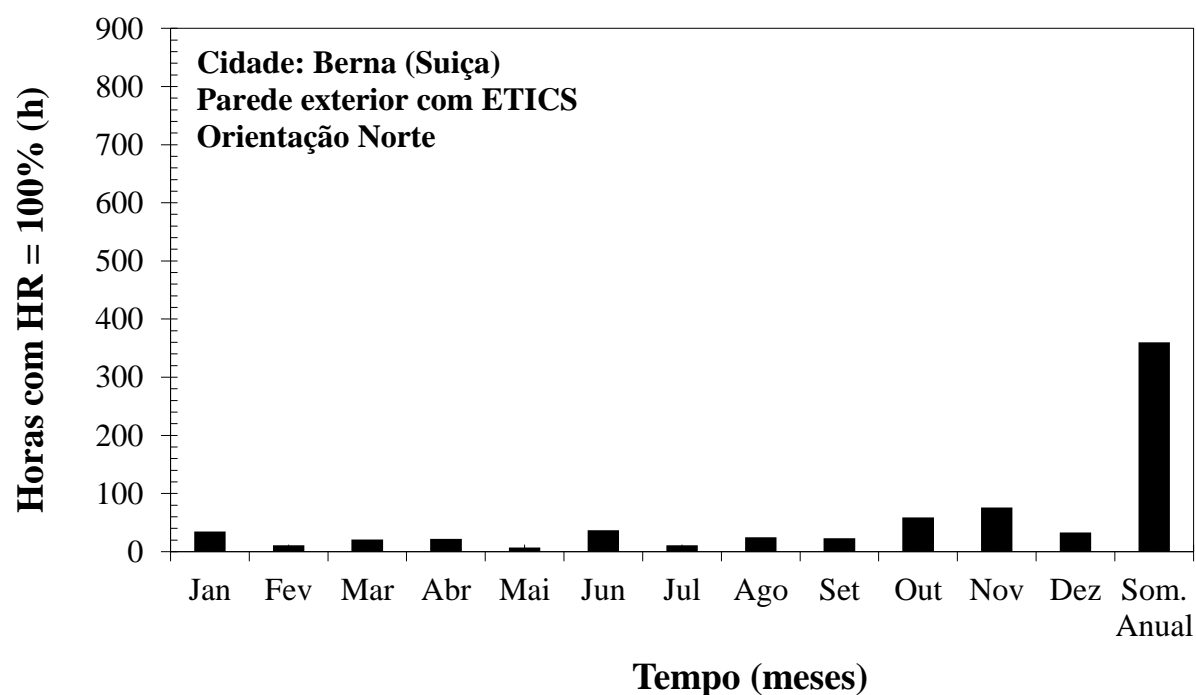


Figura 3. 45 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Berna, orientação Norte

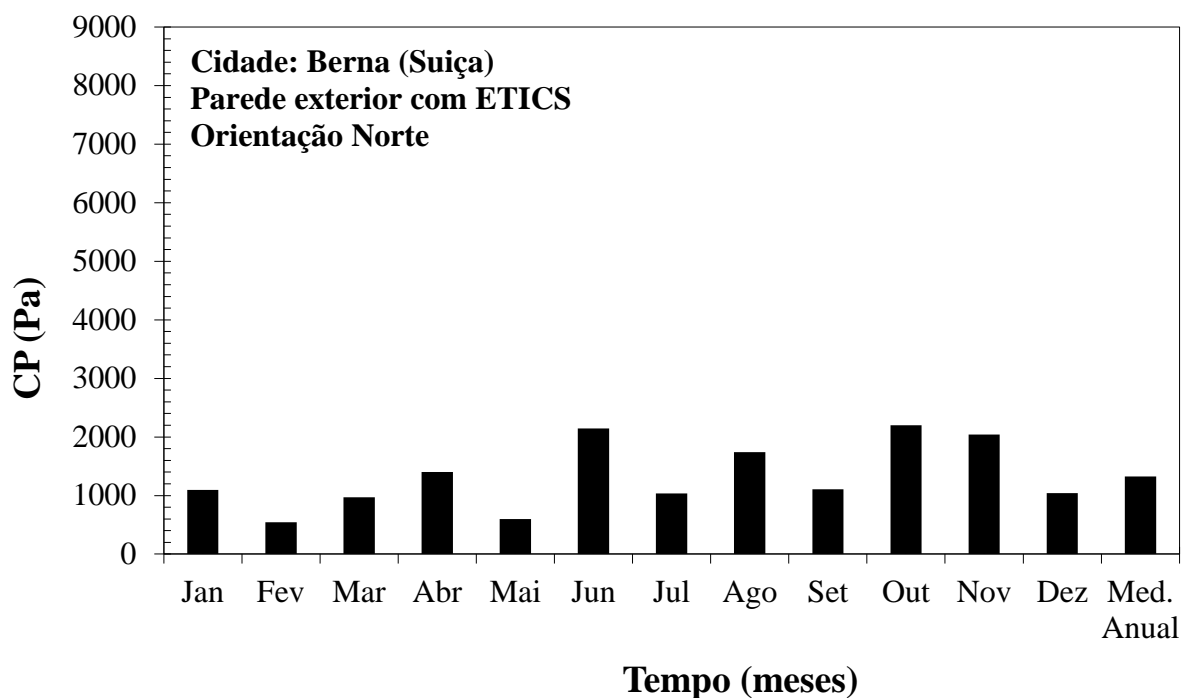


Figura 3. 46 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Berna, orientação Norte

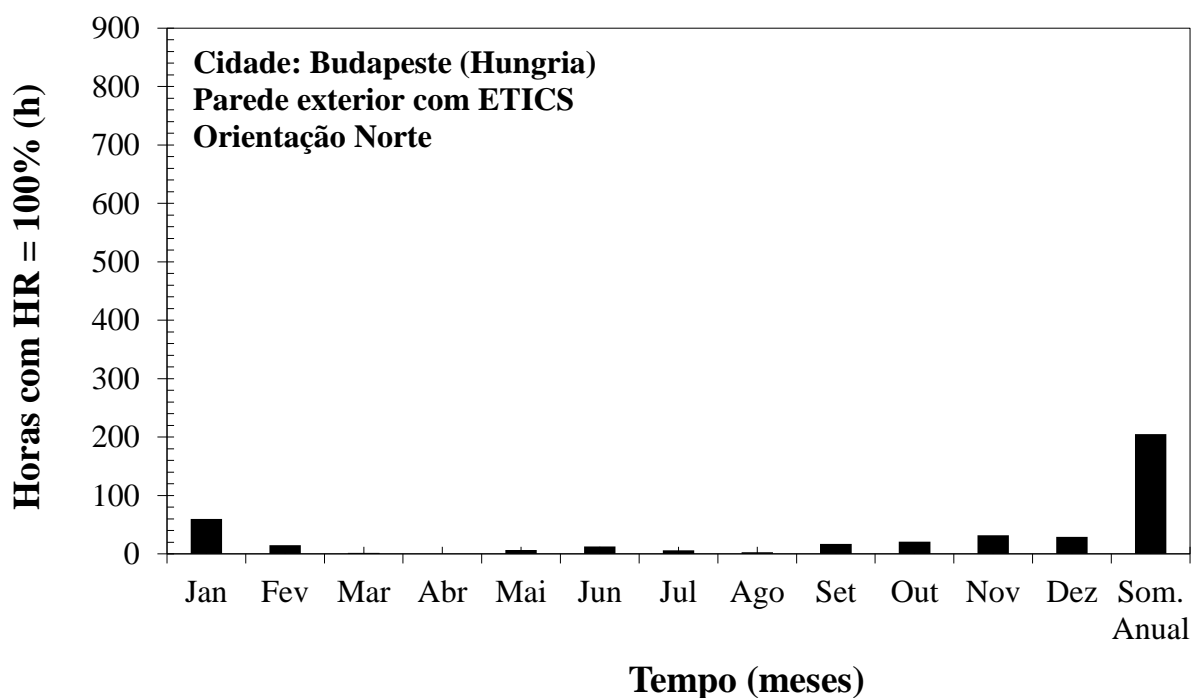


Figura 3. 47 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Budapeste, orientação Norte



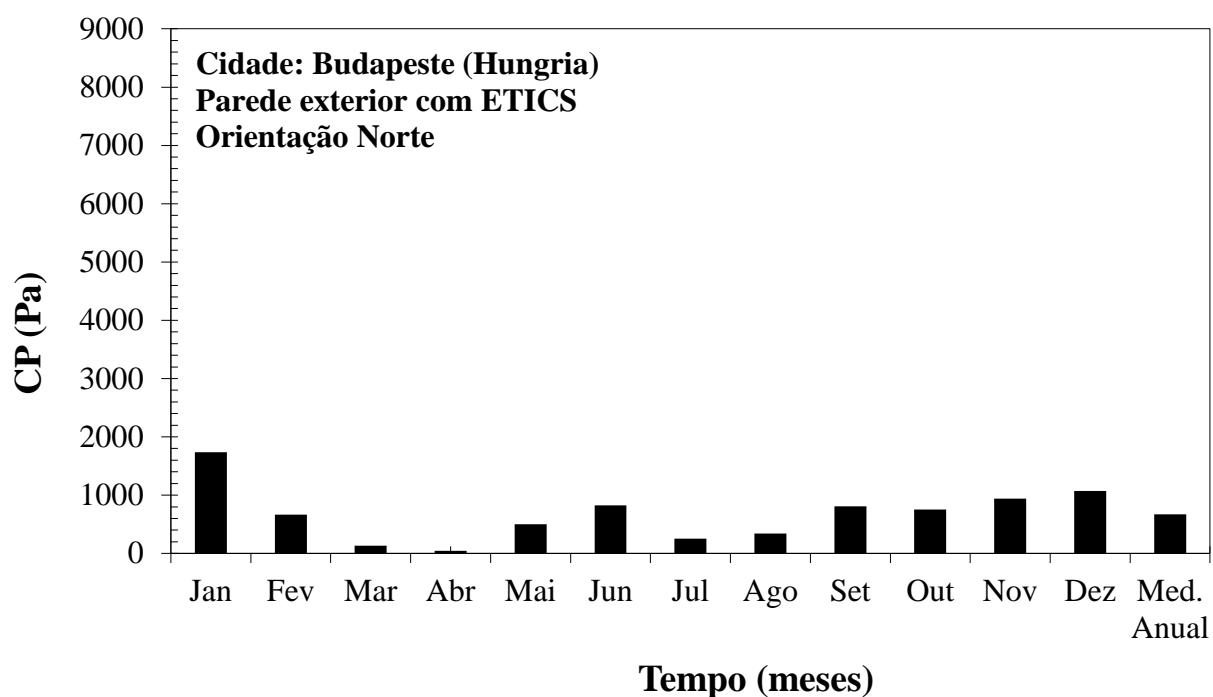


Figura 3. 48 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Budapeste, orientação Norte

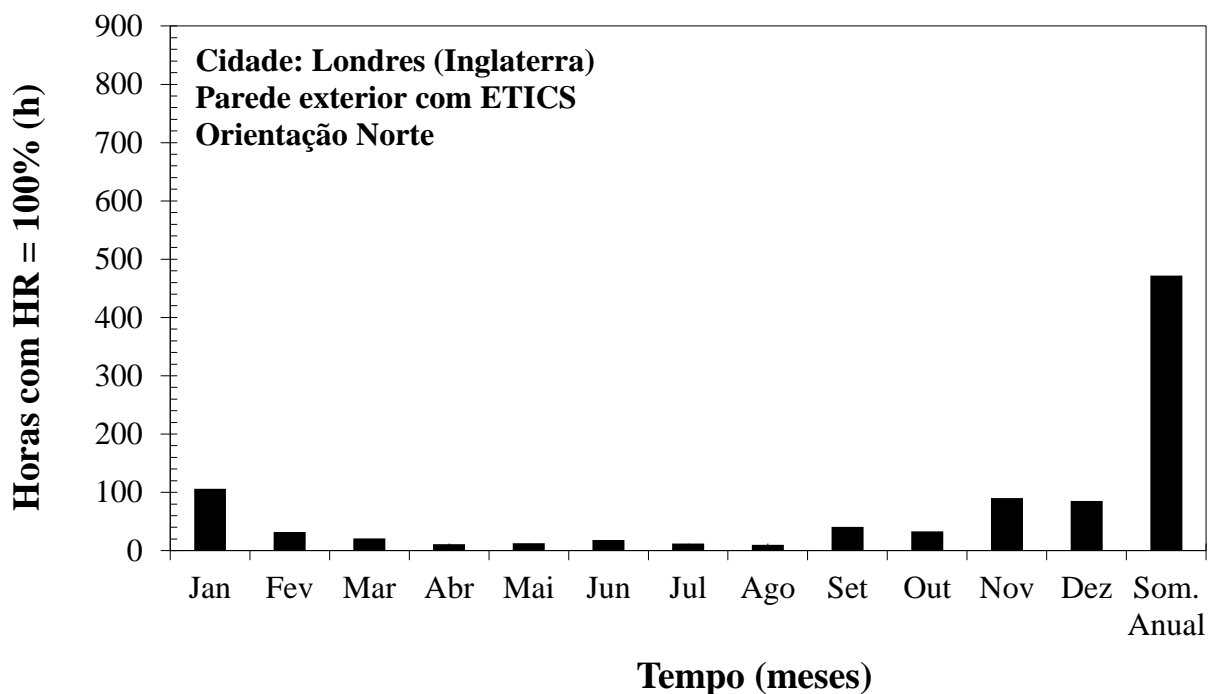


Figura 3. 49 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Londres, orientação Norte

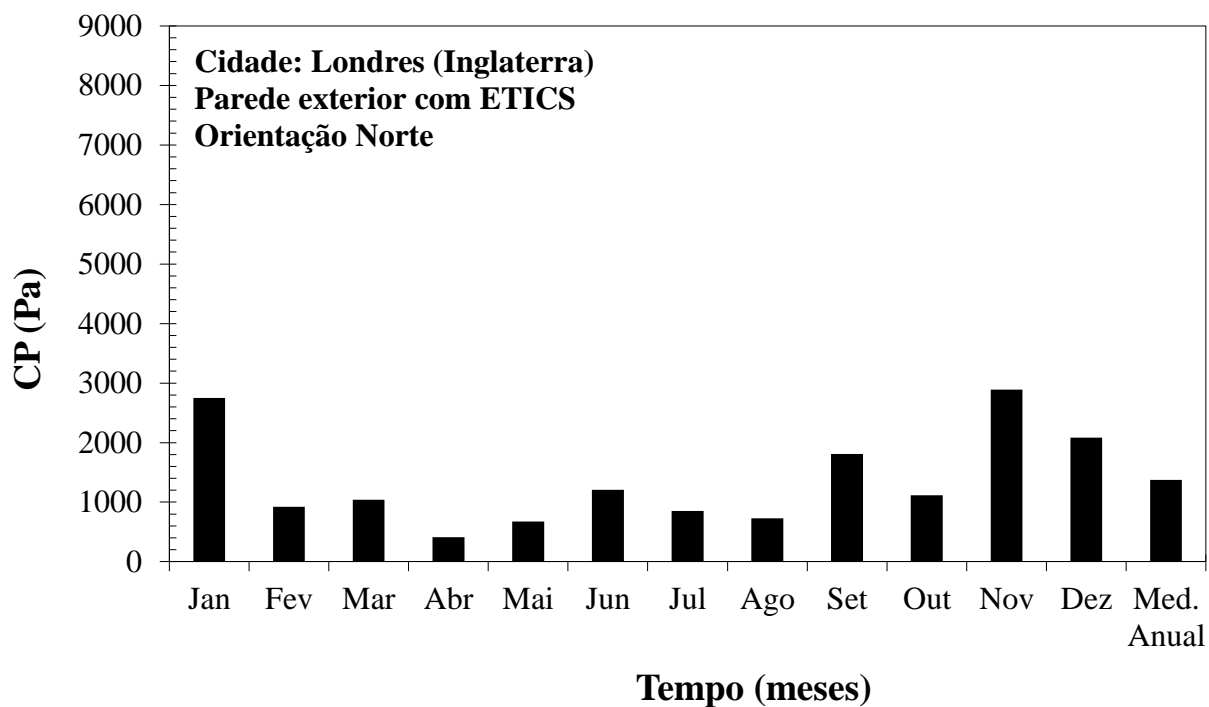


Figura 3. 50 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Londres, orientação Norte

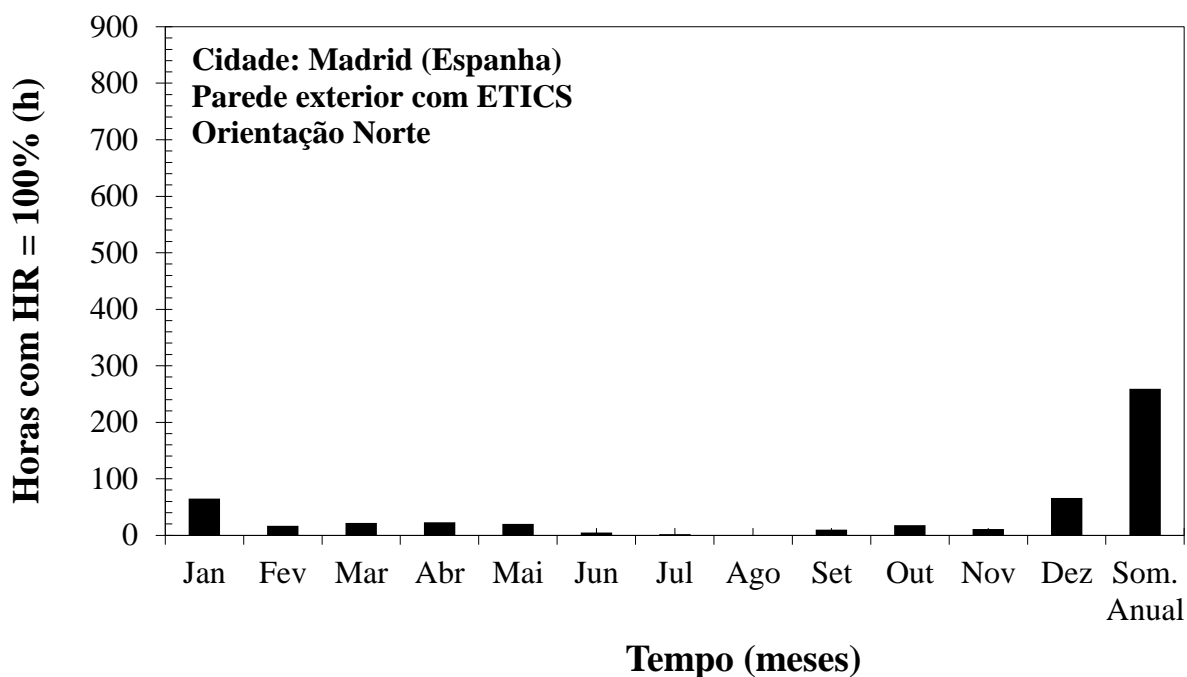


Figura 3. 51 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Madrid, orientação Norte

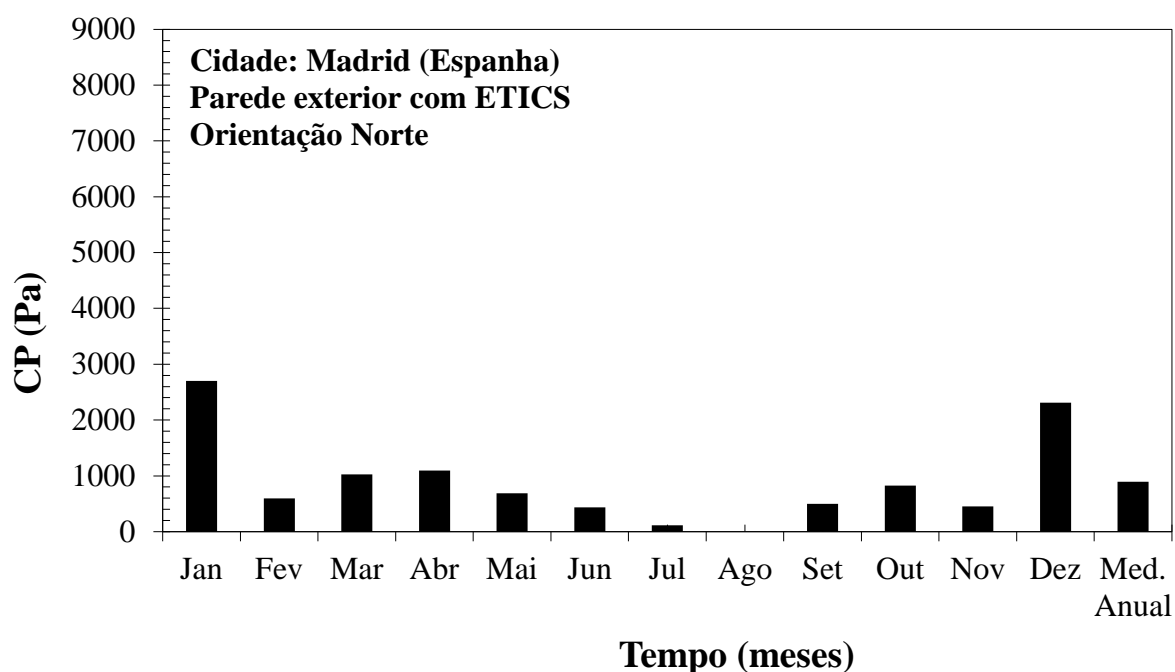


Figura 3. 52 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Madrid, orientação Norte

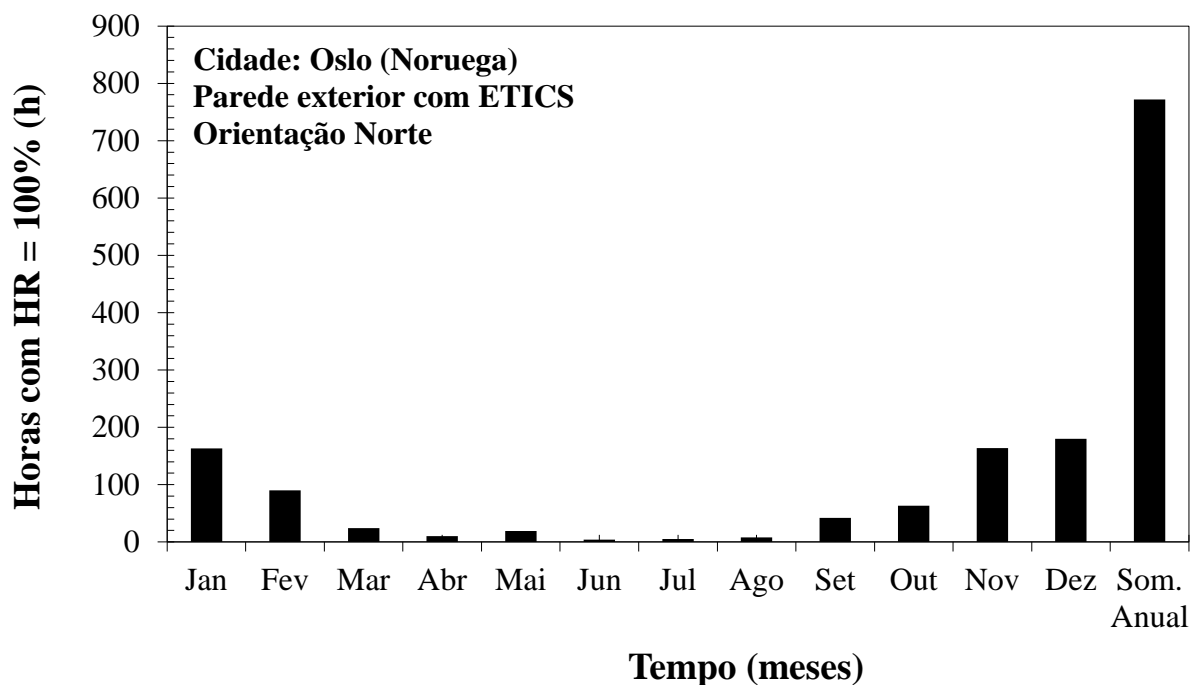


Figura 3. 53 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Oslo, orientação Norte

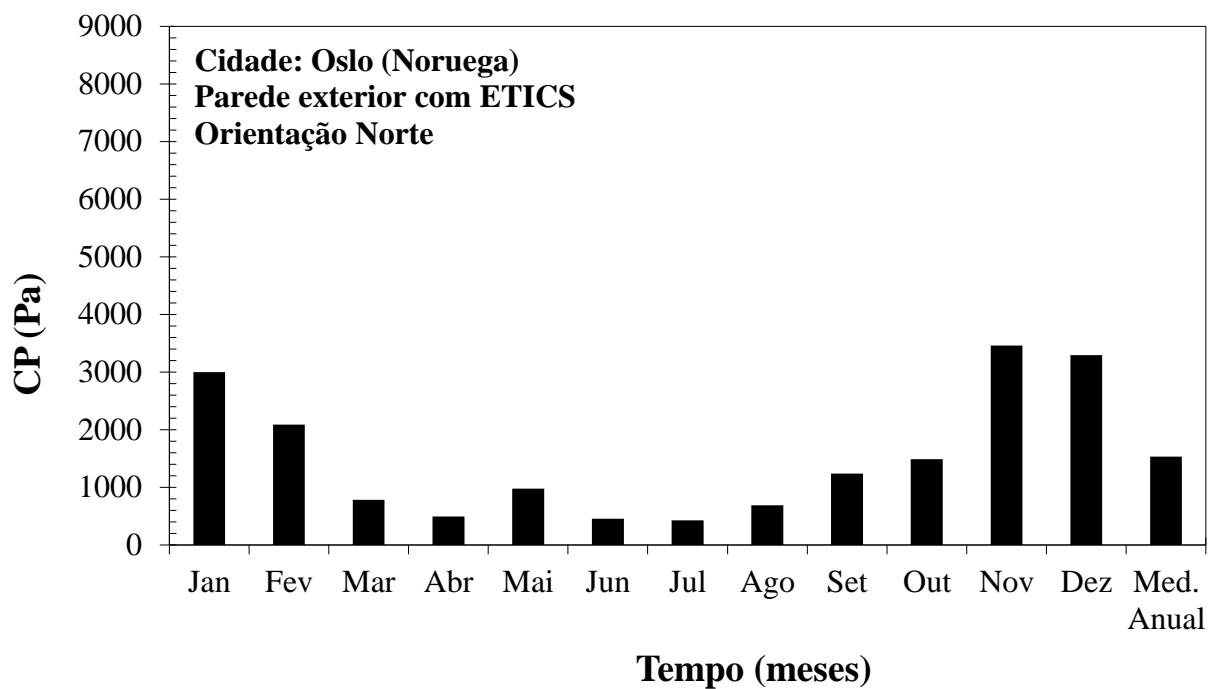


Figura 3. 54 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Oslo, orientação Norte

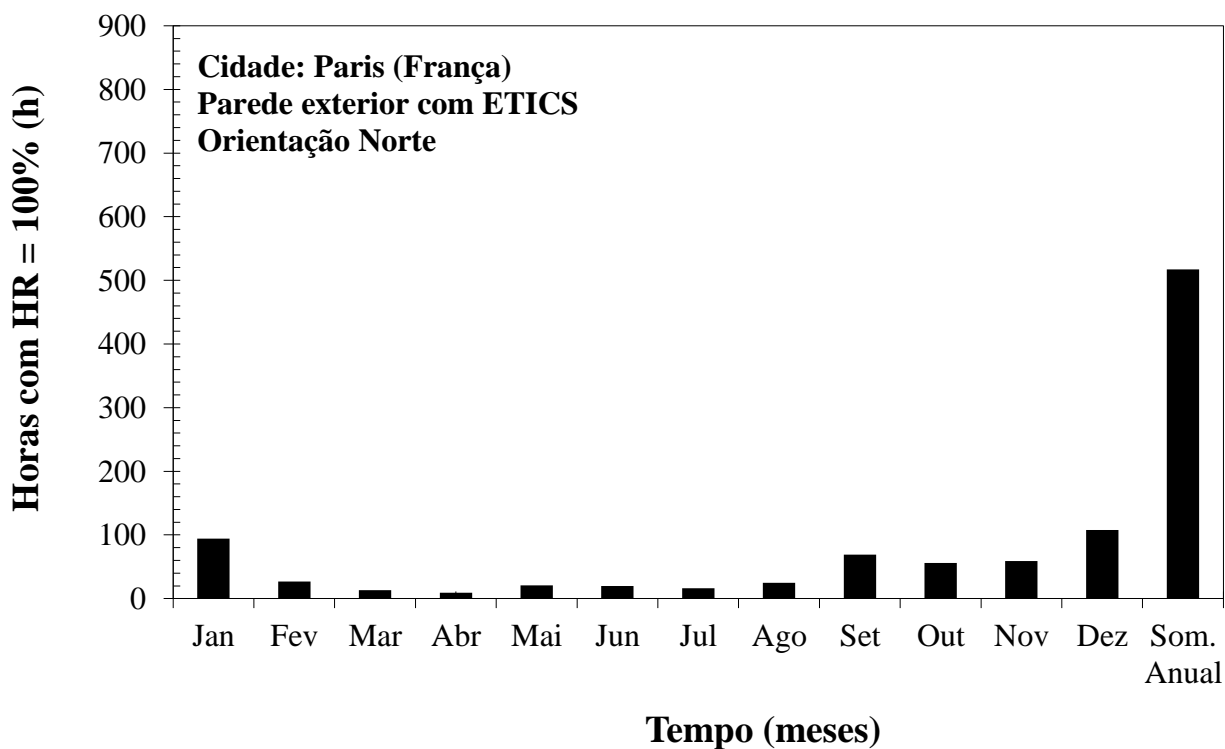


Figura 3. 55 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Paris, orientação Norte

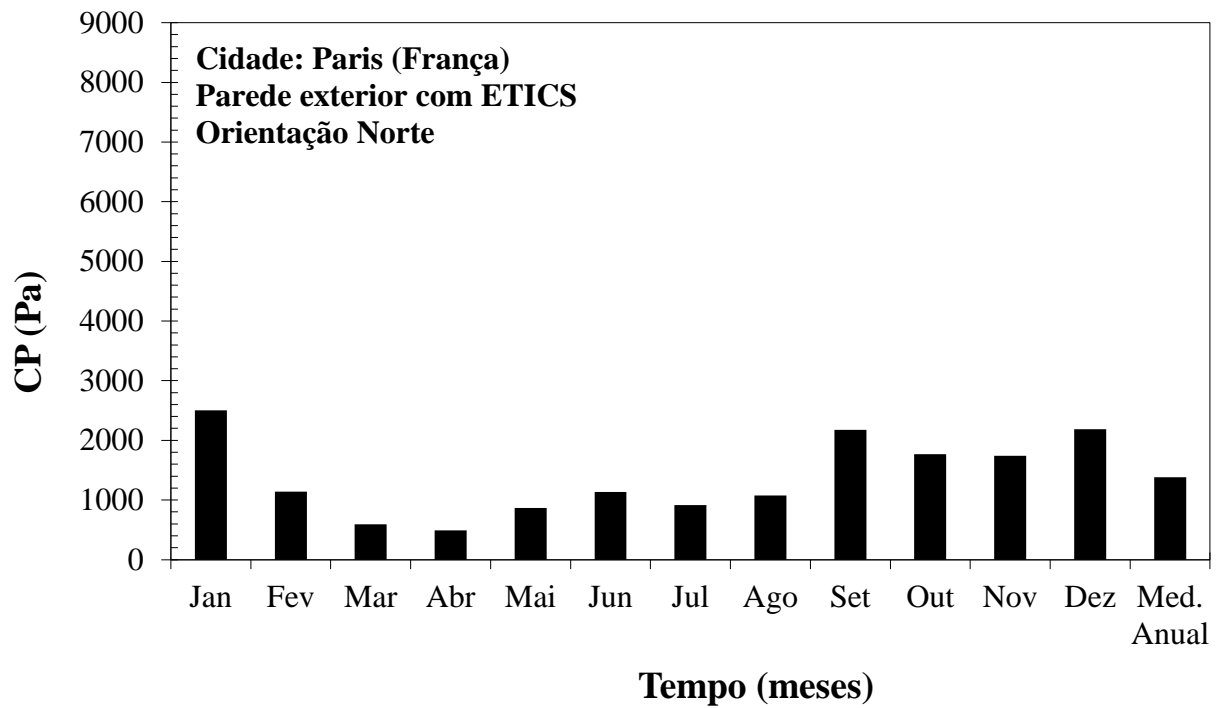


Figura 3. 56 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Paris, orientação Norte

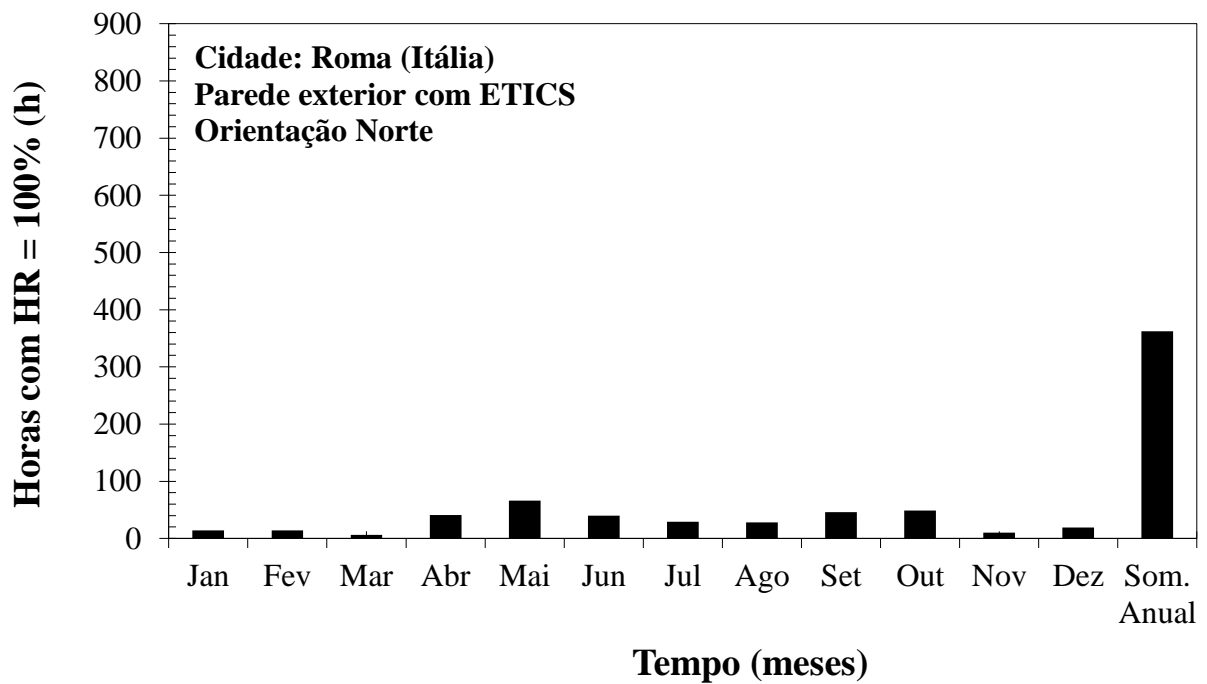


Figura 3. 57 – Acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, em Roma, orientação Norte

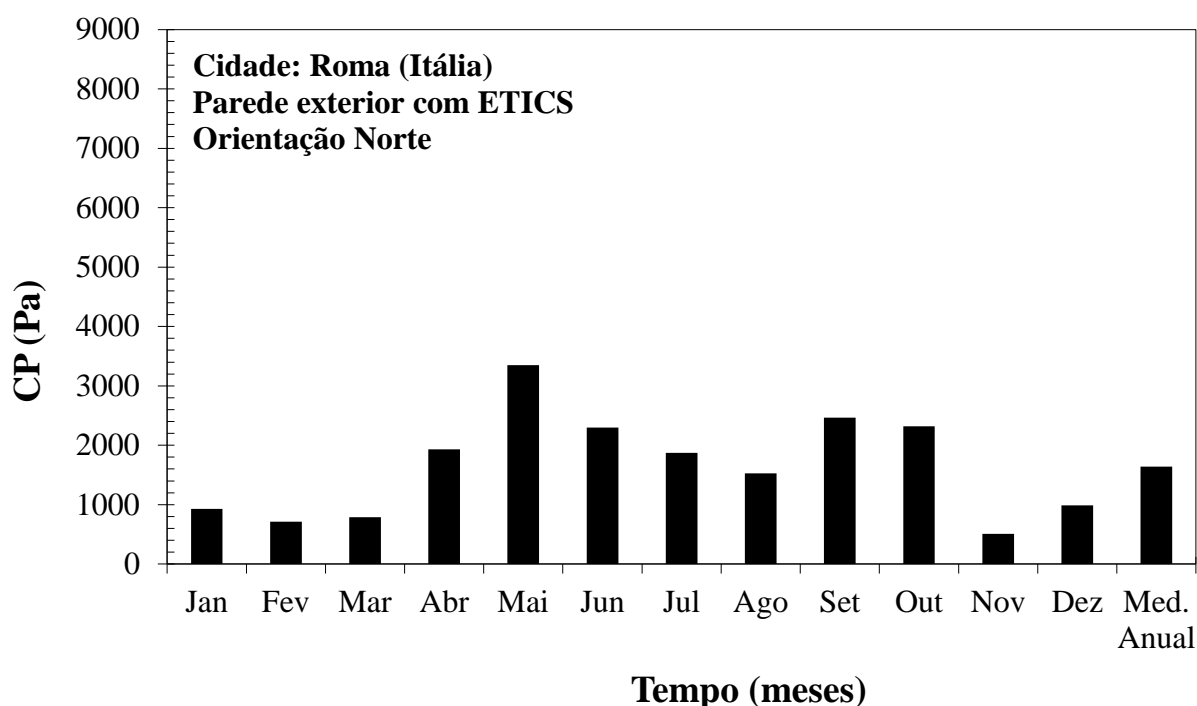


Figura 3. 58 – Acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo, em Roma, orientação Norte

Comparando os resultados obtidos para os climas europeus é possível concluir, relativamente ao número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, que a cidade que registou o maior número de horas num dado mês foi a cidade de Oslo, com 180 horas no mês de Dezembro, enquanto que as cidades que registaram o menor número de horas desse parâmetro num dado mês foram as cidades de Budapeste, com 2 horas no mês de Março, e a cidade de Madrid, com 2 horas no mês de Julho. Quanto ao somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, o maior valor corresponde à cidade de Oslo com 772 horas, enquanto que o menor valor está associado à cidade de Budapeste com 205 horas. É importante referir que houve 2 cidades que apresentaram 1 mês com valor nulo do parâmetro em questão, Budapeste, no mês de Abril, e Madrid, no mês de Agosto.

No que diz respeito ao valor acumulado do potencial de condensação positivo, a cidade que registou o maior valor num dado mês foi a cidade de Oslo, com 3460,11 Pa no mês de Novembro, enquanto que a cidade que registou o menor valor foi a cidade de Budapeste, com 45,99 Pa no mês de Abril. Já a média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo é mais elevado para a cidade de Roma, com 1639,8 Pa, e mais baixo para a cidade de Budapeste, com 673,1 Pa. No estudo deste parâmetro apenas foi verificado um valor nulo, para um mês de uma cidade, que corresponde ao mês de Agosto na cidade de Madrid.

Tal como nas cidades portuguesas, também quando se analisa a tendência dos acumulados ao longo do ano, se verificam diferentes tendências para as diferentes cidades. Berlim, Berna, Budapeste, Londres e Paris apresentam uma tendência linear, em que ocorrem condensações significativas nos meses de verão. Madrid e Oslo apresentam uma tendência polinomial do 2º grau, com os meses de verão a terem

uma redução significativa. Roma é a única cidade em que as condensações ocorrem sobretudo na primavera e verão, sendo mais reduzidas nos meses de outono e inverno.

A Tabela 3.6 apresenta um resumo das simulações efetuadas, indicando os valores do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% e da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo referentes aos 15 climas estudados, orientação Norte.

Tabela 3. 6 – Valores do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% e da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo referentes aos 15 climas estudados, orientação Norte

Climas (Orientação Norte)	Somatório anual do nº de horas de HR da superfície exterior igual a 100%	Média anual do acumulado mensal do PC positivo (Pa)
Porto	508	2086,4
Bragança	597	1953,2
Coimbra	640	2537,5
Castelo Branco	289	1058,2
Lisboa	342	1309,2
Évora	410	1507,8
Faro	296	1318,1
Berlim	392	1089,5
Berna	360	1326,9
Budapeste	205	673,1
Londres	472	1373,7
Madrid	259	894,8
Oslo	772	1532,6
Paris	517	1382,3
Roma	362	1639,8

A análise da Tabela 3.6 permite concluir quais as cidades que apresentam mais problemas de condensações. No entanto, considerando os dois parâmetros em avaliação, verifica-se que eles não apresentam uma coerência no que diz respeito à ordenação das cidades. Assim, se for considerada a média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, a cidade de Coimbra é a mais gravosa, seguindo-se o Porto, Bragança, Roma, Oslo, Évora, Paris, Londres, Berna, Faro, Lisboa, Berlim, Castelo Branco, Madrid e Budapeste. Se for considerado o número de horas acumuladas em que a humidade relativa da superfície exterior iguala os 100 %, então a cidade com mais problemas de condensações seria Oslo, depois Coimbra, Paris, Porto, Londres, Évora, Berlim, Roma, Berna, Lisboa, Faro, Castelo Branco, Madrid e Budapeste.

No futuro, terá que ser avaliada a razão dos diferentes resultados obtidos para os dois critérios de avaliação das condensações e definido qual será o mais adequado.

### **3.4. SÍNTESE CRÍTICA**

Da totalidade das simulações efetuadas, verificou-se que na maior parte dos cenários estudados, a simulação 38 corresponde à combinação de parâmetros mais gravosa em termos de risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores e, por isso, foi a combinação escolhida, para cada cenário, para fazer a correspondente avaliação higrotérmica. Esta simulação corresponde a uma radiação de onda longa adicional de 0%, o que permite concluir que a radiação de onda longa tem um grande peso na ocorrência de condensações superficiais exteriores neste tipo de fachada.

A análise da variação horária possibilitou constatar que existe uma grande coerência nos intervalos em que ocorreram condensações superficiais exteriores, definidos através da relação da temperatura superficial com a temperatura de ponto de orvalho, através dos valores positivos do potencial de condensação e através da humidade relativa da superfície exterior. Através da análise dos intervalos em questão, concluiu-se que o horário de ocorrência de condensações superficiais exteriores é essencialmente durante a noite e início da manhã.

A avaliação dos dados horários também permitiu concluir que existem algumas diferenças entre as cidades, nomeadamente no que diz respeito ao número de horas em que o potencial de condensação é positivo e aos valores médios do potencial de condensação positivo. Também as temperaturas superficiais variam bastante em função do clima, como seria de esperar.

Foi feita uma comparação entre climas, a nível de risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores, através da análise dos gráficos acumulados que são referentes aos valores horários do ano inteiro de estudo. Relativamente aos climas portugueses, concluiu-se que os mais críticos são os das cidades de Bragança, Coimbra e Porto. A cidade de Bragança registou o valor mais elevado referente ao número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% num dado mês e também registou o maior valor acumulado do potencial de condensação positivo num dado mês. Já a cidade de Coimbra distinguiu-se pelo facto de corresponder ao clima com maior somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% assim como ser a cidade com a maior média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo. Quanto às capitais europeias, as cidades mais críticas para a ocorrência do fenómeno em questão são Oslo e Roma. A capital da Noruega registou os valores mais elevados do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% num dado mês, do valor acumulado do potencial de condensação positivo num dado mês e do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%. Já a cidade de Roma apresentou o valor máximo da média mensal do valor acumulado do potencial de condensação positivo. Em relação aos climas menos críticos, ou seja, menos propícios à ocorrência da patologia em questão, destaca-se a cidade de Castelo Branco nos climas portugueses e a cidade de Budapeste nas capitais europeias. Tanto a cidade de Castelo Branco (quando comparada com os climas portugueses), como a cidade de Budapeste (quando comparada com os climas europeus) registaram os valores mínimos para o somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% e para a média anual do valor acumulado mensal do potencial de condensação positivo. Estes resultados referentes à cidade de Castelo Branco são facilmente justificados pelo facto de nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro os dois parâmetros analisados terem sido nulos.

A ordenação das cidades em função da tendência para ocorrerem condensações superficiais exteriores, não é equivalente utilizando os 2 critérios, somatório anual do número de horas em que a humidade relativa da superfície exterior é igual a 100% e média anual do acumulado mensal do potencial de



condensação positivo. No futuro, será necessário definir qual dos dois critérios é o mais adequado para avaliar a ocorrência de condensações superficiais exteriores em fachadas revestidas com ETICS.



## 4

## META-MODELO

## 4.1. DESCRIÇÃO DO META-MODELO

Para ser possível estudar as condensações superficiais exteriores de uma forma mais rápida aplicou-se um modelo simplificado a todos os climas e orientações estudados no Capítulo 3. O modelo simplificado trata-se de um meta-modelo que ajusta uma equação ao conjunto de resultados obtidos através das simulações efetuadas com o programa de cálculo automático WUFI, para cada clima e orientação.

As abordagens tradicionais utilizadas na seleção do conjunto de condições que otimizam determinado processo consistem em estudar o efeito de uma variável de cada vez. Este tipo de análise é muito limitativo, uma vez que a variação sequencial das variáveis não revela o efeito de interação entre estas. Outra grande desvantagem é não ser possível estabelecer o número de ensaios necessários para atingir o objetivo pretendido, podendo tornar-se um processo muito moroso e com custos elevados [25].

A Metodologia de Superfícies de Resposta (MSR) é uma técnica de planeamento experimental implementada por Box e Wilson na década de 1950, que permite a otimização de qualquer processo. Fazem parte dessa categoria os métodos: Full Factorial (Fatorial Completo), Reduced Factorial (Fatorial Fracionado), Cubic Face Centered (Cubo de Face Centrada), Box-Behnken, Plackett Burman e Latin Square (Quadrado Latino) [25, 26, 27].

A inovação introduzida pela MSR é a de permitir a avaliação dos efeitos individuais e de interação de todas as variáveis em estudo de forma independente, com base em modelos matemáticos e na variação sistemática das variáveis em estudo. A aplicação de MSR, ao invés da abordagem tradicional, apresenta vantagens, nomeadamente a redução do número de ensaios [28].

Atualmente, as principais técnicas utilizadas em planeamento experimental ou numérico para processos de otimização são: Compósito Central, Box-Behnken e Doehlert. Nesta dissertação o meta-modelo utilizado é o modelo Box-Behnken. O seu conceito pode ser explicado imaginando um cubo onde os vértices correspondem ao limite máximo e mínimo das variáveis a estudar e o modelo Box-Behnken consiste em estudar o ponto central do cubo e o ponto médio dos extremos da região a estudar (Figura 4.1). O modelo Box-Behnken não tem pontos axiais, assim, pode-se ter certeza que todos os pontos são abrangidos na zona segura de projeto [27].

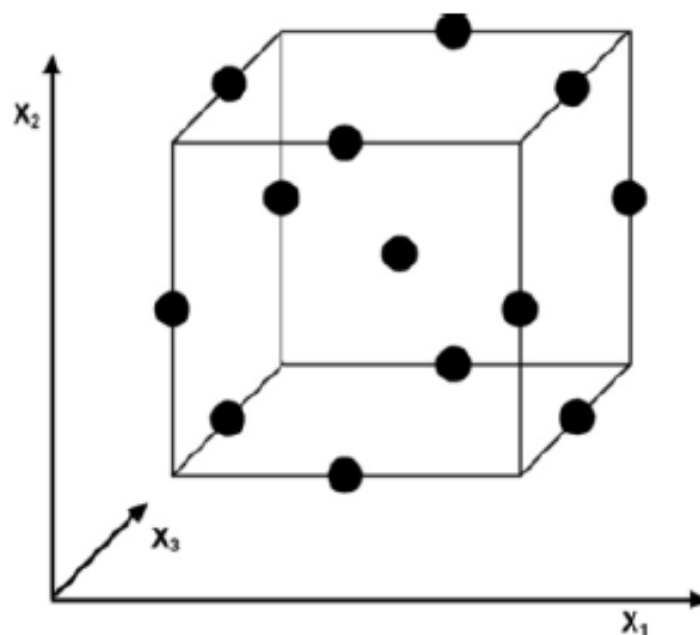


Figura 4. 1 - Representação gráfica de um planejamento experimental com modelo Box-Behnken de 3 fatores [29].

No exemplo representado na Figura 4.1, o planejamento experimental é de 3 fatores e são necessários 15 ensaios (representados pelas bolas) e três deles são coincidentes no ponto central. Uma vez que neste trabalho o modelo Box-Behnken foi aplicado para o estudo de 5 fatores, de acordo com o desenho fatorial Box-Behnken, são necessários 46 ensaios (com réplica), seis dos quais dizem respeito ao ponto central. Cada fator é estudado a três níveis diferentes (-1, 0, +1), ou seja, a nível dos valores mínimo, médio e máximo do intervalo de cada fator. O ponto central corresponde a um ensaio com os valores médios de todos os fatores. A inclusão do ponto central (6 réplicas) permite obter uma estimativa mais precisa de erro e assume-se a variância dos ensaios sempre igual e idêntica à determinada para esse ponto. Esta variância também é usada para verificar a adequabilidade do modelo. Na Tabela 4.1 é apresentada a combinação dos ensaios que foram necessários realizar neste trabalho e que foram apresentados no Capítulo 3 com o programa WUFI para ser possível validar este modelo [29].

Tabela 4. 1 – Combinação dos ensaios para 5 fatores usando a formulação de Box-Behnken

Run	X1	X2	X3	X4	X5
1	1	1	0	0	0
2	1	-1	0	0	0
3	-1	1	0	0	0
4	-1	-1	0	0	0
5	1	0	1	0	0
6	1	0	-1	0	0
7	-1	0	1	0	0
8	-1	0	-1	0	0
9	1	0	0	1	0
10	1	0	0	-1	0
11	-1	0	0	1	0
12	-1	0	0	-1	0
13	1	0	0	0	1
14	1	0	0	0	-1
15	-1	0	0	0	1
16	-1	0	0	0	-1
17	0	1	1	0	0
18	0	1	-1	0	0
19	0	-1	1	0	0
20	0	-1	-1	0	0
21	0	1	0	1	0
22	0	1	0	-1	0
23	0	-1	0	1	0
24	0	-1	0	-1	0
25	0	1	0	0	1
26	0	1	0	0	-1
27	0	-1	0	0	1
28	0	-1	0	0	-1
29	0	0	1	1	0
30	0	0	1	-1	0
31	0	0	-1	1	0
32	0	0	-1	-1	0
33	0	0	1	0	1
34	0	0	1	0	-1
35	0	0	-1	0	1
36	0	0	-1	0	-1
37	0	0	0	1	1
38	0	0	0	1	-1
39	0	0	0	-1	1
40	0	0	0	-1	-1
41	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0

Os resultados obtidos a partir do modelo Box-Behnken foram analisados através da regressão múltipla, utilizando a metodologia de regressão dos mínimos quadrados, para se ajustar à seguinte equação de segunda ordem para todas as variáveis dependentes [21, 30].

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n b_{ij} X_i X_j \quad (4.1)$$

Em que:

$Y$  – Variável dependente

$b_0, b_i$  e  $b_{ij}$  – Coeficientes de regressão constantes

$X_i$  e  $X_j$  – Variáveis independentes

No caso específico desta dissertação, a variável dependente corresponde à média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo (PC) ou ao somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (HR). As cinco variáveis independentes (fatores) em causa são o coeficiente de absorção de radiação de onda curta do revestimento exterior ( $X_1$ ), o coeficiente de emissividade de radiação de onda longa do revestimento exterior ( $X_2$ ), a espessura do revestimento exterior ( $X_3$ ), a espessura da camada de isolamento térmico ( $X_4$ ) e a radiação de onda longa incidente na superfície exterior devido à presença de obstáculos na periferia ( $X_5$ ). Os valores das variáveis independentes são referidos no Capítulo 3. Já os coeficientes de regressão constantes são calculados neste trabalho tendo em conta a minimização do erro entre os valores numéricos da variável dependente (obtidos através das simulações efetuadas no software WUFI) e os respetivos valores estimados (obtidos pelas novas fórmula). A minimização do erro está associada à aproximação dos resultados da nova fórmula aos resultados do programa WUFI, ou seja, à aproximação da realidade.

Para obter as equações que melhor se ajustam a cada clima e orientação foi necessário utilizar os resultados das 738 simulações efetuadas e já referidas no Capítulo 3. Para cada clima e orientação foram consideradas 41 simulações e através do meta-modelo foi possível extrair os coeficientes de regressão constantes, para cada cenário, que permitem obter as duas fórmulas pretendidas.

#### 4.2. TRATAMENTO DOS PARÂMETROS DE AJUSTE

Desta forma, através da Equação 4.1, em que são consideradas as 5 variáveis independentes já referidas e são adotados valores para os coeficientes de regressão, foram obtidos valores estimados para as variáveis dependentes que se pretendem. O valor do erro corresponde à diferença entre o valor numérico e o valor estimado da correspondente variável dependente e este processo de determinação de fórmulas passa pela minimização do mesmo.

Como já foi referido, por imposição do modelo Box-Behnken é necessário 46 pontos experimentais para cada fórmula a determinar e como a simulação número 41 corresponde à simulação com os valores médios em todas as variáveis independentes, repetiu-se os valores e resultados dessa simulação mais cinco vezes para respeitar o requisito de seis pontos centrais do modelo em estudo.

A Tabela 4.2 ilustra um exemplo referente a um cenário em que foi aplicado o modelo Box-Behnken, onde estão representados, para as 46 simulações que foi necessário considerar, os valores das variáveis independentes, valores numéricos das variáveis dependentes, valores estimados das variáveis dependentes e os erros. Também é apresentado o somatório dos erros assim como o erro máximo das 46 simulações para cada variável dependente. As tabelas referentes aos restantes cenários podem ser consultadas em Anexo.

Tabela 4. 2 – Aplicação do modelo Box-Behnken referente ao cenário da cidade de Paris, orientação Norte

Ref.	Descrição: Paris - Norte										
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]						
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL	CP	RH=100%				
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
S1PO	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	144	55	139	4,76	62	7
S2PO	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	63	25	64	0,75	21	4
S3PO	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	192	90	197	4,90	102	12
S4PO	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	91	40	98	7,65	41	1
S5PO	0,7	0,875	0,02	0,07	5	81	29	81	0,11	29	0
S6PO	0,7	0,875	0,005	0,07	5	127	41	136	8,69	47	6
S7PO	0,2	0,875	0,02	0,07	5	128	53	128	0,06	58	5
S8PO	0,2	0,875	0,005	0,07	5	153	63	181	28,82	79	16
S9PO	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	193	74	185	8,08	79	5
S10PO	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	8	1	-30	38,36	-19	20
S11PO	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	249	106	265	15,75	123	17
S12PO	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	15	5	-18	32,96	-2	7
S13PO	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	2	0	14	11,34	16	16
S14PO	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	894	378	895	1,27	356	22
S15PO	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	4	0	-44	47,69	-9	9
S16PO	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	1101	489	1045	55,93	442	47
S17PO	0,45	0,95	0,02	0,07	5	132	55	134	2,23	63	8
S18PO	0,45	0,95	0,005	0,07	5	187	79	195	7,70	84	5
S19PO	0,45	0,8	0,02	0,07	5	57	24	54	3,48	14	10
S20PO	0,45	0,8	0,005	0,07	5	86	29	102	16,07	32	3
S21PO	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	272	116	287	15,29	134	18
S22PO	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	18	4	-20	37,85	-3	7
S23PO	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	152	62	143	9,36	57	5
S24PO	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	5	0	-49	54,07	-28	28
S25PO	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	5	0	-118	122,43	-23	23
S26PO	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	1235	499	1139	95,84	466	33
S27PO	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	1	0	67	65,66	20	20
S28PO	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	724	311	781	57,40	321	10
S29PO	0,45	0,875	0,02	0,1	5	180	73	194	13,48	82	9
S30PO	0,45	0,875	0,02	0,04	5	8	2	-53	61,20	-28	30
S31PO	0,45	0,875	0,005	0,1	5	253	119	250	2,88	103	16
S32PO	0,45	0,875	0,005	0,04	5	11	3	-1	12,45	-10	13
S33PO	0,45	0,875	0,02	0,07	10	3	0	3	0,00	0	0
S34PO	0,45	0,875	0,02	0,07	0	854	357	892	37,12	366	9
S35PO	0,45	0,875	0,005	0,07	10	2	0	-40	41,89	-10	10
S36PO	0,45	0,875	0,005	0,07	0	1048	415	1042	5,82	415	0
S37PO	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	13	5	-184	196,50	-44	49
S38PO	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	1382	517	1320	62,75	525	8
S39PO	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	85	84,85	18	18
S40PO	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	393	164	553	159,83	239	75
S41PO	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	109	46	128	18,74	45	1
S42PO	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	109	46	128	18,74	45	1
S43PO	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	109	46	128	18,74	45	1
S44PO	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	109	46	128	18,74	45	1
S45PO	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	109	46	128	18,74	45	1
S46PO	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	109	46	128	18,74	45	1
								Sum	1452	Sum	606
								Max	196	Max	75

A minimização do erro foi efetuada recorrendo à ferramenta Solver do Excel. Os valores dos coeficientes de regressão de cada variável dependente foram sendo alterados com o processo de minimização do erro. Quando o processo de minimização do erro é finalizado, os correspondentes coeficientes de regressão permitem definir a equação de segunda ordem que se pretende para o clima e orientação em estudo.

A Tabela 4.3 apresenta o somatório dos erros e o erro máximo das 46 simulações de cada cenário e para cada variável dependente.

Tabela 4. 3 – Erros finais de ajuste referentes aos 18 cenários estudados

Cidade (Orientação)	Erros de ajuste			
	Som. PC	Máx. PC	Som. HR	Máx. HR
Porto (Norte)	1921	253	606	101
Porto (Sul)	1877	219	486	85
Porto (Este)	1808	243	474	56
Porto (Oeste)	1972	269	564	115
Bragança (Norte)	1698	213	693	75
Coimbra (Norte)	2168	288	624	113
Castelo Branco (Norte)	828	114	268	37
Lisboa (Norte)	815	119	279	37
Évora (Norte)	887	134	339	39
Faro (Norte)	855	114	254	48
Berlim (Norte)	1004	150	563	74
Berna (Norte)	1575	222	562	69
Budapeste (Norte)	842	106	298	32
Londres (Norte)	1389	211	604	85
Madrid (Norte)	603	93	226	31
Oslo (Norte)	1206	184	962	123
Paris (Norte)	1452	196	606	75
Roma (Norte)	1589	177	476	60

A Tabela 4.3 permite tirar algumas conclusões relativamente aos erros das duas variáveis dependentes estudadas. Foram feitas análises a nível das cidades portuguesas, das capitais europeias e também uma análise global.

Relativamente aos cenários portugueses e à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo (PC), o somatório dos erros das 46 simulações de cada cenário é mais elevado para a cidade de Coimbra e mais baixo para a cidade de Lisboa. O maior valor dos máximos dos erros das 46 simulações de cada cenário, para a mesma variável dependente, corresponde à cidade de Coimbra. No que diz respeito à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (HR) e ainda tendo em conta os cenários portugueses, o somatório dos erros das 46 simulações de cada cenário é mais elevado para a cidade de Bragança e mais baixo para a cidade de Faro. Para esta variável dependente, o maior valor dos



máximos dos erros das 46 simulações de cada cenário português pertence à cidade do Porto, orientação Oeste.

No que concerne às capitais europeias e à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, o somatório dos erros das 46 simulações de cada cenário é maior para a cidade de Roma e menor para a cidade de Madrid. Já o maior valor dos máximos dos erros das 46 simulações de cada cenário, para a mesma variável dependente, corresponde à cidade de Berna orientada a Norte. Tendo em consideração a variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% e ainda tendo em conta os cenários das capitais europeias, o somatório dos erros das 46 simulações de cada cenário é mais elevado para a cidade de Oslo e mais baixo para a cidade de Madrid. Para esta variável dependente, o maior valor dos máximos dos erros das 46 simulações de cada cenário europeu pertence à cidade de Oslo.

Analisando a totalidade dos cenários estudados, para a variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, o somatório dos erros das 46 simulações de cada cenário é maior para a cidade de Coimbra e menor para a cidade de Madrid. O maior valor dos máximos dos erros das 46 simulações de cada cenário, para a mesma variável dependente, corresponde à cidade de Coimbra. No que diz respeito à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% e tendo em conta todos os cenários estudados, o somatório dos erros das 46 simulações de cada cenário é maior para a cidade de Oslo e menor para a cidade de Madrid. O maior valor dos máximos dos erros das 46 simulações de cada cenário, para esta variável dependente, pertence à cidade de Oslo.

#### **4.3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS FINAIS**

Como já foi referido, quando o processo de minimização do erro é concluído, os correspondentes coeficientes de regressão constantes definem a equação de segunda ordem da respetiva variável dependente, para um determinado clima e orientação. Os valores dos coeficientes de regressão constantes referentes a todas as situações estudadas podem ser consultados em Anexo.

A validação das equações obtidas com o meta-modelo foi efetuada através da comparação direta entre os valores numéricos das variáveis dependentes, obtidos com recurso ao programa de cálculo automático WUFI, e os respetivos valores estimados, obtidos pelas novas fórmulas, para todas as simulações de todos os cenários estudados. Essa comparação é feita através da análise dos gráficos das Figuras 4.2 à 4.37. Para complementar essa análise, considerou-se útil fazer um tratamento dos resultados para tirar mais conclusões e perceber melhor as novas equações. Os erros de ajuste que foram trabalhados para se obterem as equações correspondem a erros absolutos. No entanto, a análise da variação percentual entre os valores estimados e os valores numéricos de cada simulação, de cada variável dependente, permite eliminar alguns erros de interpretação, nomeadamente, uma grande diferença em valor absoluto entre o valor estimado e o valor numérico de uma determinada simulação com valores elevados da variável dependente, pode não ter tanto significado quando comparado com uma menor diferença desses valores da variável dependente para grandezas inferiores.

Desta forma, para cada variável dependente foram calculadas as variações percentuais entre os valores estimados e os valores numéricos de todas as simulações, de todos os cenários com orientação Norte. Em certos casos não foram calculadas as variações percentuais pelo facto dos valores estimados da variável dependente em causa serem negativos, ou seja, como as duas variáveis dependentes em

estudo não podem assumir valores negativos, nessas condições não foram consideradas as respetivas simulações para o tratamento estatístico. Para além desses casos, também houve três variações percentuais que foram excluídas pelo facto de corresponderem a valores demasiado elevados quando comparados com os outros. As variações percentuais que foram excluídas por serem demasiado elevadas são, para a variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, a simulação número 24 do cenário de Coimbra e a simulação número 30 do cenário de Évora e, para a variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, a simulação número 5 do cenário de Berna.

Foram calculadas as médias desses valores por clima e verificou-se que todos os climas apresentaram valores relativamente baixos e não muito afastados uns dos outros para as duas variáveis dependentes, o que comprova uma boa aproximação entre os resultados estimados e os resultados numéricos para cada variável dependente (os correspondentes valores podem ser consultados em Anexo).

Procedeu-se também ao cálculo, para as duas variáveis dependentes, da média das variações percentuais a nível global, a nível nacional e a nível europeu por simulação (Tabela 4.4).

Esta análise permite perceber quais são as simulações que, em valor médio, se ajustam melhor ou pior às fórmulas deduzidas. Para ter uma melhor perceção foram criados intervalos para melhores variações percentuais e para piores variações percentuais de cada variável dependente. Em relação à primeira variável dependente apresentada, foram assumidas boas aproximações para valores inferiores a 3% e piores aproximações para valores superiores a 40%. Já para a segunda variável dependente, foram consideradas boas variações percentuais para valores inferiores a 5% e piores aproximações para valores superiores a 60%. Os valores limites de classificação do ajuste foram escolhidos apenas com base nos resultados obtidos. Foram considerados intervalos diferentes para as duas variáveis dependentes uma vez que a segunda apresenta, na maioria dos casos, valores um pouco superiores. Na Tabela 4.4, as células que estão preenchidas a verde correspondem às variações percentuais mais baixas (melhor ajuste) enquanto que as que estão preenchidas a vermelho correspondem às variações percentuais mais altas (pior ajuste), segundo os intervalos definidos. As células a que não corresponde nenhum valor e estão preenchidas a vermelho correspondem aos casos que não foram considerados para este tratamento estatístico pelos motivos que já foram referidos. Nesta tabela também estão apresentados os valores numéricos médios das duas variáveis dependentes para cada simulação uma vez que é necessário ter a noção da grandeza destes parâmetros para a análise em questão.

É possível verificar que há uma grande coerência entre os resultados obtidos a nível global, a nível nacional e a nível europeu para cada variável dependente uma vez que a média dos erros é muito semelhante para as três situações. Também comparando as duas variáveis dependentes, se verifica para a maior parte das simulações, uma correspondência entre a classificação das médias dos erros relativos em termos globais, nacionais e europeus. O modelo Box- Behnken tem a característica de ser um modelo que se ajusta melhor para variáveis de grandeza média e, de facto, as simulações associadas a valores de grandeza média das variáveis dependentes apresentam baixas variações percentuais. No que diz respeito às simulações que dão origem a valores extremos das variáveis dependentes, o modelo não se ajusta tão bem. No entanto, verificam-se alguns resultados de variações percentuais baixas para algumas simulações que estão associadas a valores máximos das variáveis dependentes, como por exemplo as simulações 14, 34, 36 e 38. Esta situação é justificada uma vez que se está a analisar uma variação percentual entre valores elevados e uma diferença que é considerável em termos absolutos, não reflete a mesma intensidade em termos percentuais (Tabela 4.4).

Tabela 4. 4– Média das variações percentuais entre os valores estimados e os valores numéricos de cada variável dependente a nível global, a nível nacional e a nível europeu por simulação

Simulações	Valor numérico médio		Variável Dependente PC			Variável Dependente HR		
	PC	HR	Global	Portugal	Europa	Global	Portugal	Europa
Simulação 1	215	65	2,01%	2,06%	1,98%	3,09%	1,85%	4,17%
Simulação 2	112	29	5,22%	4,57%	5,78%	7,77%	4,10%	10,98%
Simulação 3	261	92	3,30%	4,06%	2,64%	5,00%	3,72%	6,12%
Simulação 4	140	42	5,22%	3,30%	6,90%	8,07%	6,18%	9,73%
Simulação 5	129	31	7,95%	3,96%	11,43%	11,33%	9,81%	12,84%
Simulação 6	191	50	5,99%	3,33%	8,32%	13,60%	7,26%	19,16%
Simulação 7	176	50	2,55%	2,16%	2,88%	6,65%	5,71%	7,47%
Simulação 8	216	66	9,51%	6,52%	12,12%	15,91%	9,73%	21,33%
Simulação 9	266	71	2,99%	1,86%	3,99%	4,05%	2,25%	5,63%
Simulação 10	38	6	135,35%	41,73%	291,37%	230,20%	75,53%	616,88%
Simulação 11	318	102	2,56%	2,70%	2,44%	5,05%	4,11%	5,87%
Simulação 12	52	13	44,24%	39,01%	52,08%	18,72%	12,45%	33,34%
Simulação 13	3	0	72,94%	62,46%	82,12%	97,65%	95,30%	100,00%
Simulação 14	1006	306	0,77%	0,59%	0,92%	2,46%	3,13%	1,88%
Simulação 15	5	1	35,18%	21,37%	58,21%	80,12%	72,04%	90,90%
Simulação 16	1203	412	6,49%	7,12%	5,93%	15,67%	14,11%	17,03%
Simulação 17	193	54	3,07%	3,72%	2,51%	8,83%	5,61%	11,64%
Simulação 18	261	78	4,92%	4,32%	5,45%	7,99%	7,52%	8,41%
Simulação 19	96	22	14,44%	8,94%	19,25%	30,59%	16,83%	46,63%
Simulação 20	142	36	5,79%	2,59%	8,60%	16,19%	4,84%	26,12%
Simulação 21	356	108	4,26%	4,96%	3,65%	8,55%	8,10%	8,94%
Simulação 22	64	14	32,57%	31,50%	34,45%	24,07%	22,81%	25,96%
Simulação 23	211	57	8,43%	4,80%	11,59%	14,68%	4,69%	23,43%
Simulação 24	25	4	163,97%	163,97%		160,12%	160,12%	
Simulação 25	8	1						
Simulação 26	1342	426	7,27%	6,31%	8,11%	9,98%	8,70%	11,11%
Simulação 27	2	0	97,50%	96,73%	98,17%	99,08%	98,02%	100,00%
Simulação 28	815	256	5,54%	4,29%	6,63%	2,33%	0,83%	3,64%
Simulação 29	242	68	3,91%	2,98%	4,72%	5,59%	5,24%	5,90%
Simulação 30	34	6	210,01%	210,01%		83,74%	83,74%	
Simulação 31	330	105	3,23%	3,09%	3,35%	13,51%	11,77%	15,03%
Simulação 32	50	9	38,61%	64,25%	8,70%	44,03%	14,09%	88,94%
Simulação 33	4	0	58,47%	44,25%	69,13%	79,10%	80,00%	78,35%
Simulação 34	943	279	2,80%	1,60%	3,85%	4,08%	1,81%	6,07%
Simulação 35	4	0	8,17%		8,17%			
Simulação 36	1166	354	1,29%	1,66%	0,98%	1,03%	1,68%	0,46%
Simulação 37	19	4						
Simulação 38	1446	428	2,82%	0,39%	4,96%	4,57%	3,10%	5,86%
Simulação 39	4	0	96,90%	99,97%	94,21%	100,00%	100,00%	100,00%
Simulação 40	498	142	25,92%	20,83%	30,36%	29,24%	20,58%	36,82%
Simulação 41	169	52	7,01%	1,87%	11,50%	21,47%	16,78%	25,58%

Como foi referido anteriormente, através de gráficos de barras foi feita uma comparação entre os valores numéricos e os valores estimados de cada variável dependente para todas as simulações de todos os cenários abordados. As Figuras 4.2 à 4.37 mostram os gráficos para a média anual do

acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, das 41 simulações de cada cenário.

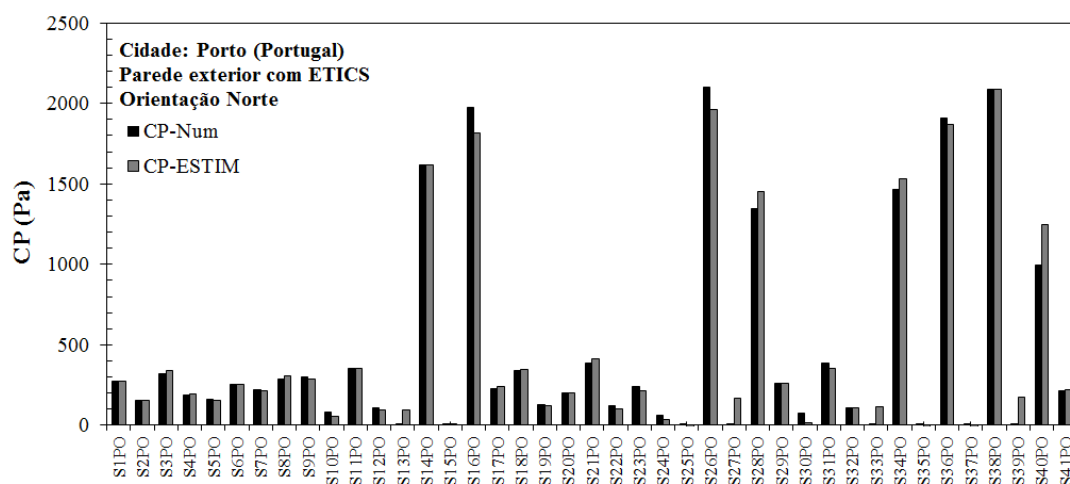


Figura 4. 2 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Norte

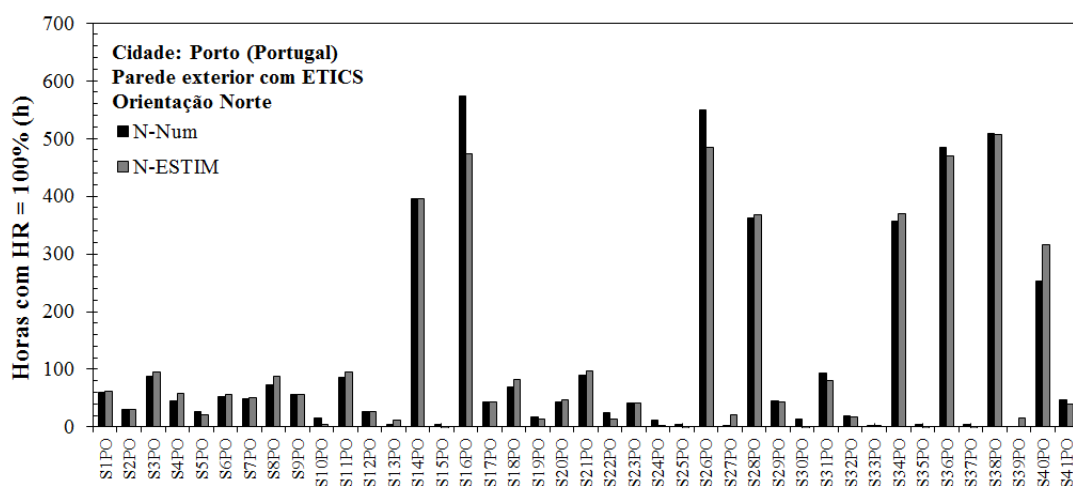


Figura 4. 3 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Norte

Os gráficos das Figuras 4.2 e 4.3 correspondem ao cenário da cidade do Porto, orientação Norte. Em relação ao primeiro gráfico referente à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 14 e 29, com uma variação percentual de 0%. Relativamente ao gráfico da Figura 4.3, correspondente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na

totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 33, com uma variação percentual de 0%.

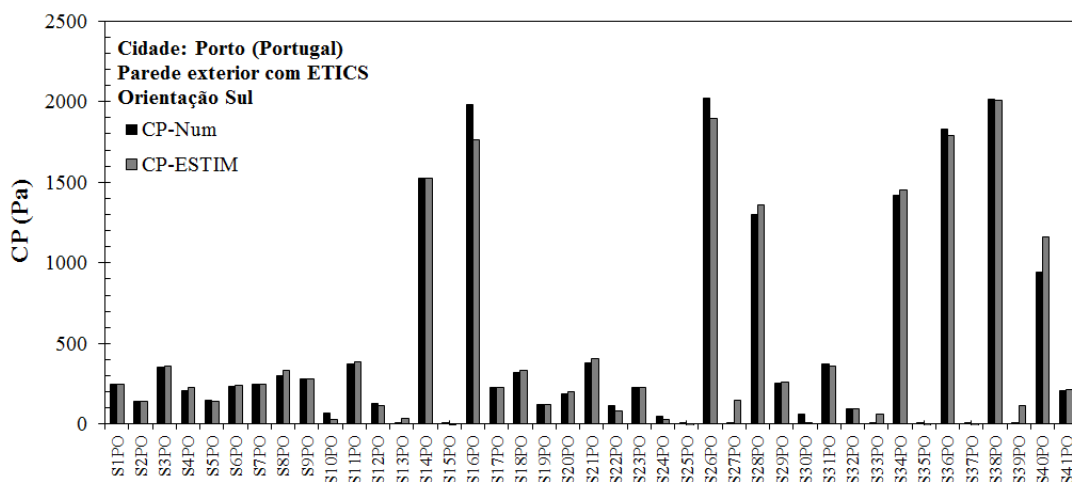


Figura 4. 4 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Sul

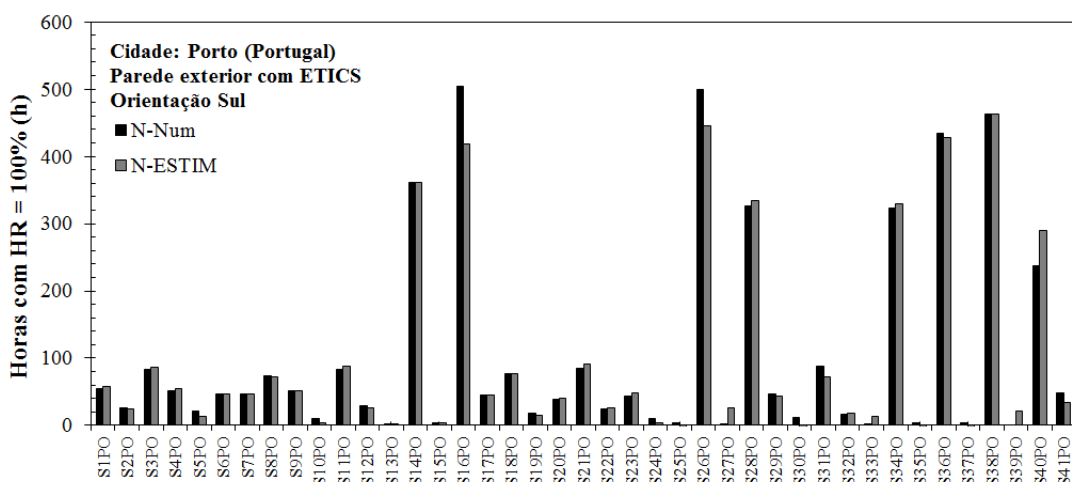


Figura 4. 5 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Sul

Os gráficos das Figuras 4.4 e 4.5 correspondem ao cenário da cidade do Porto, orientação Sul. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 32, com uma variação percentual de 0%. Relativamente ao gráfico correspondente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as

simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 14 e 17 e 38, com uma variação percentual de 0%.

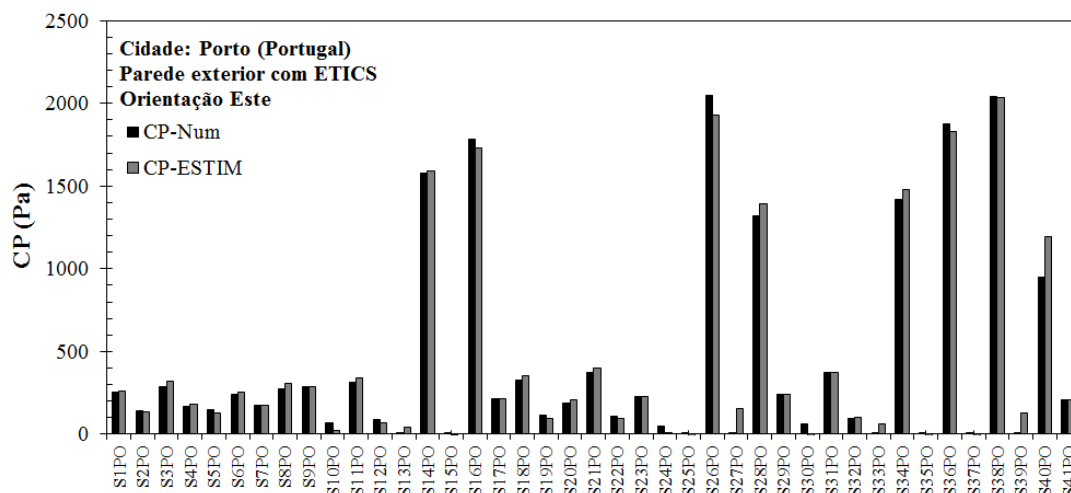


Figura 4. 6 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Este

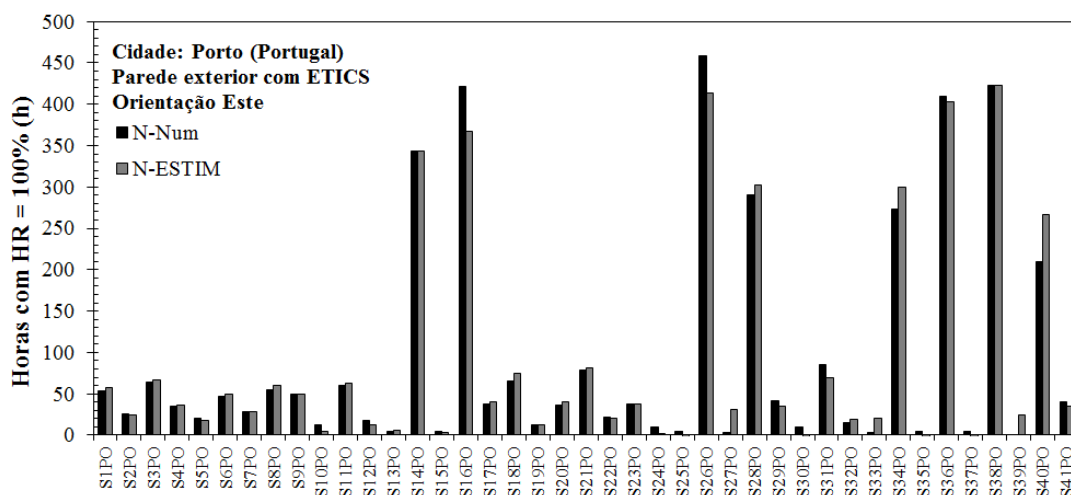


Figura 4. 7 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Este

Os gráficos das Figuras 4.6 e 4.7 correspondem ao cenário da cidade do Porto, orientação Este. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 7 e 9, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 19, com uma variação percentual de 0%.

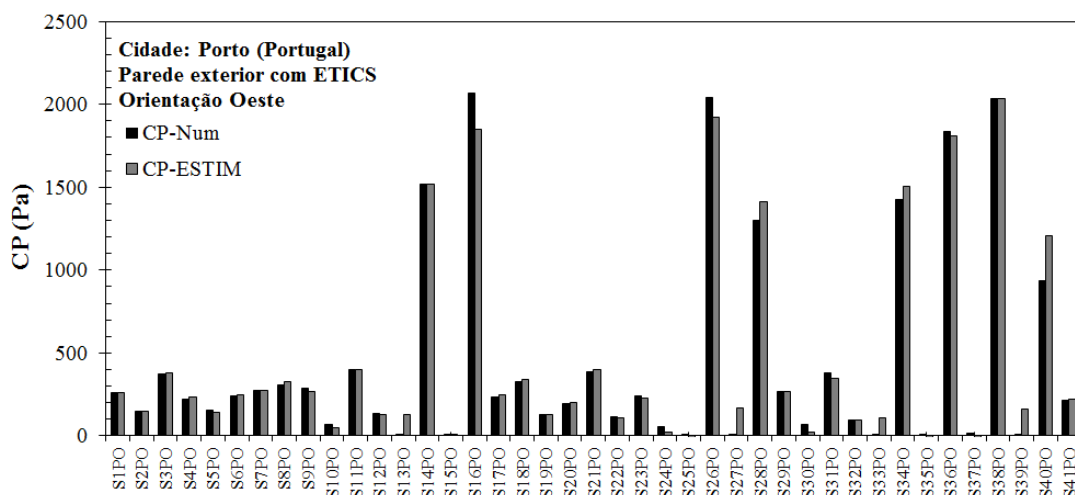


Figura 4. 8 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Oeste

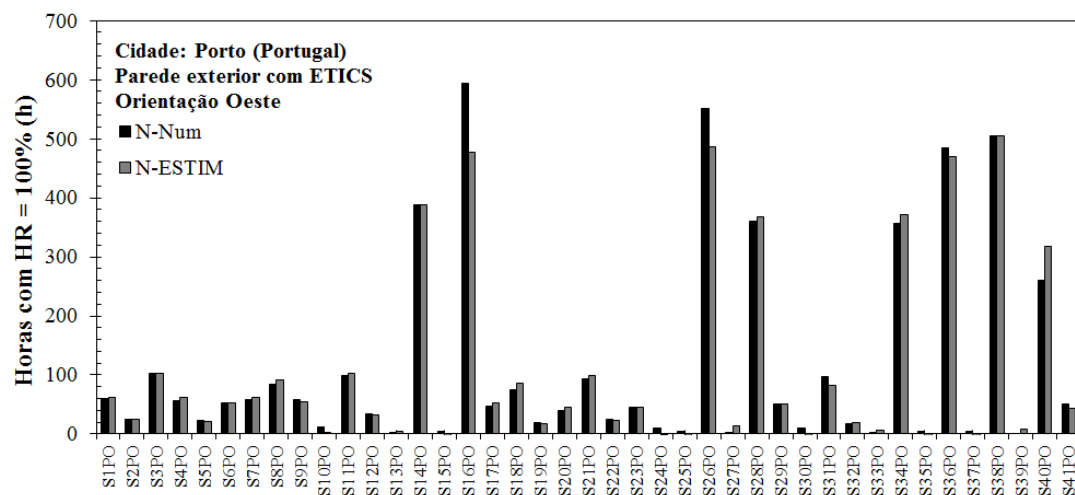


Figura 4. 9 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade do Porto e orientação Oeste

As Figuras 4.8 e 4.9 correspondem ao cenário da cidade do Porto, orientação Oeste. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 32 e 38, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 3, 14 e 29, com uma variação percentual de 0%.

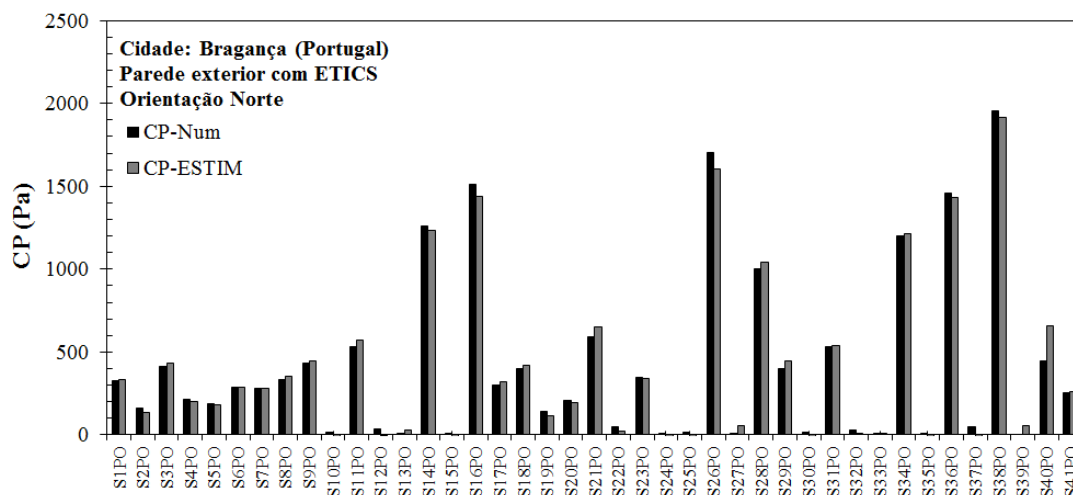


Figura 4. 10 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Bragança e orientação Norte

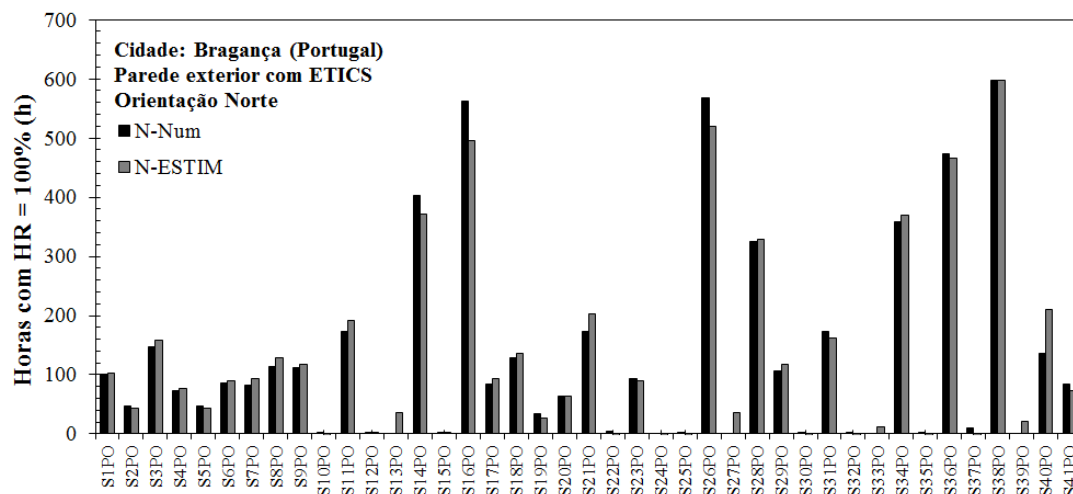


Figura 4. 11 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Bragança e orientação Norte

Os gráficos das Figuras 4.10 e 4.11 correspondem ao cenário da cidade de Bragança, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 33, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 20 e 38, com uma variação percentual de 0%.



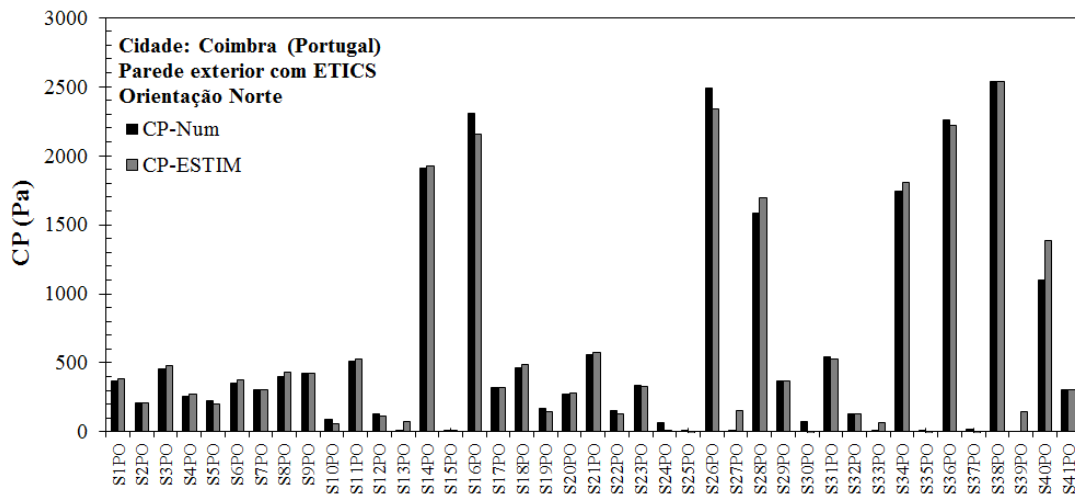


Figura 4. 12 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Coimbra e orientação Norte

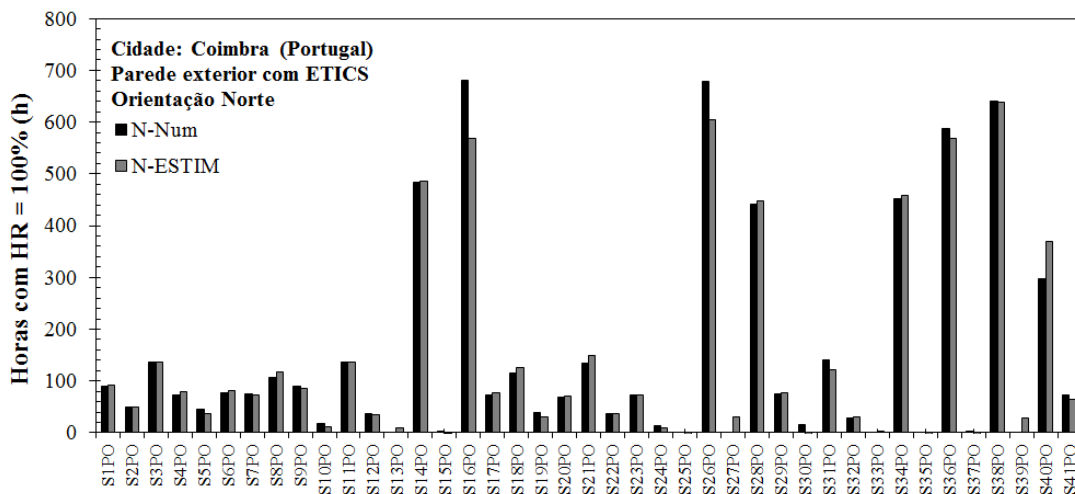


Figura 4. 13 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Coimbra e orientação Norte

Os gráficos das Figuras 4.12 e 4.13 correspondem ao cenário da cidade de Coimbra, orientação Norte. Em relação ao gráfico referente à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 41, com uma variação percentual de 0%. Relativamente ao gráfico correspondente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 2, com uma variação percentual de 0%.

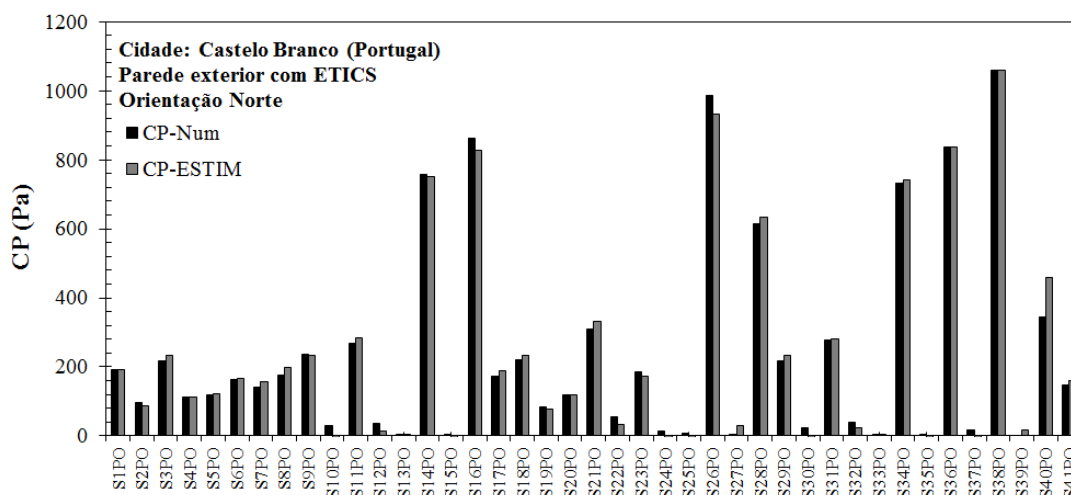


Figura 4. 14 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Castelo Branco e orientação Norte

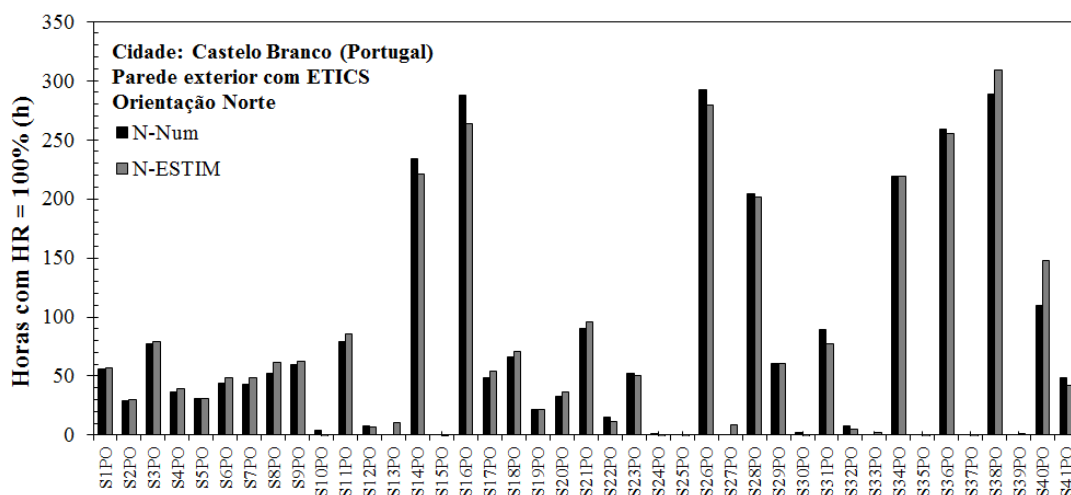


Figura 4. 15 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Castelo Branco e orientação Norte

Os gráficos das Figuras 4.14 e 4.15 correspondem ao cenário da cidade de Castelo Branco, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 13, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 29, com uma variação percentual de 0,10%.

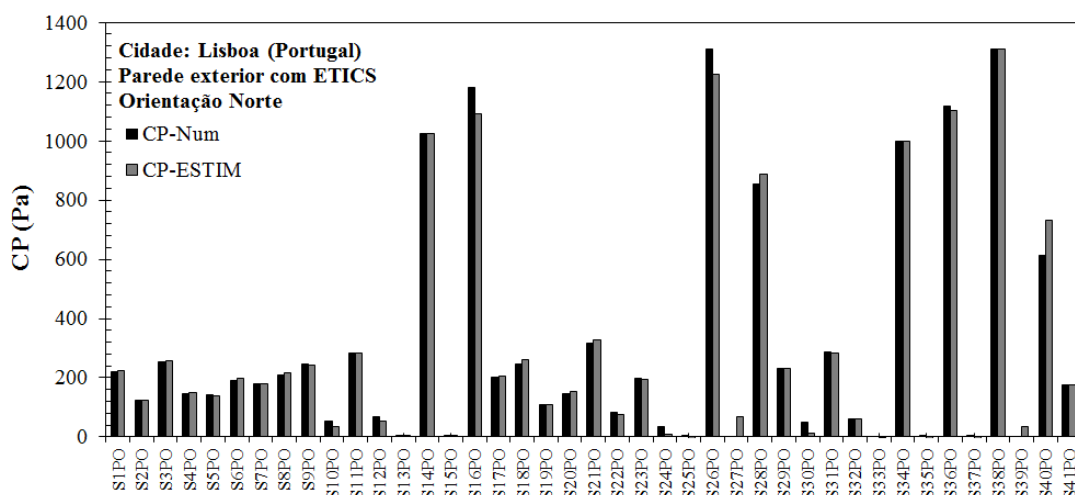


Figura 4. 16 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Lisboa e orientação Norte

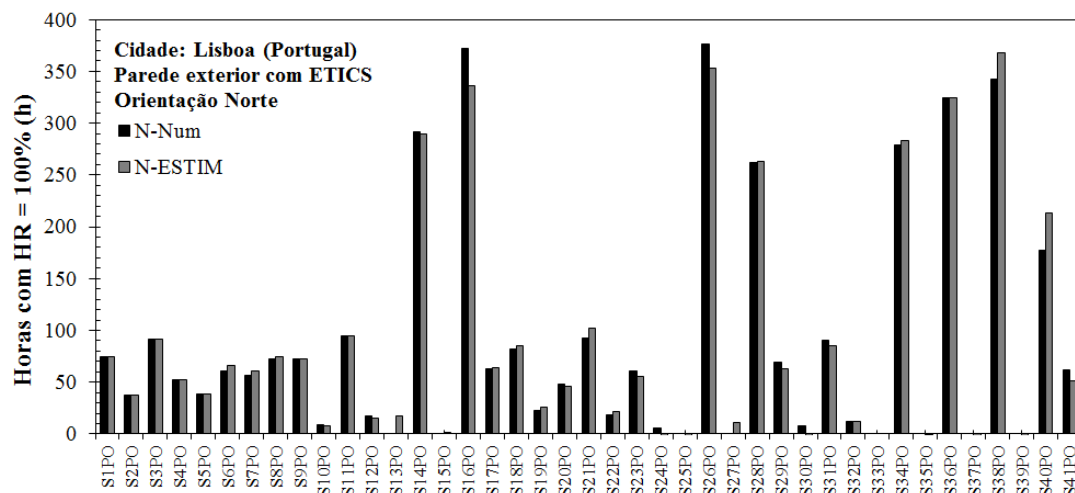


Figura 4. 17 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Lisboa e orientação Norte

As Figuras 4.16 e 4.17 correspondem ao cenário da cidade de Lisboa, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 11, 19, 29 e 38, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 1, com uma variação percentual de 0,06%.

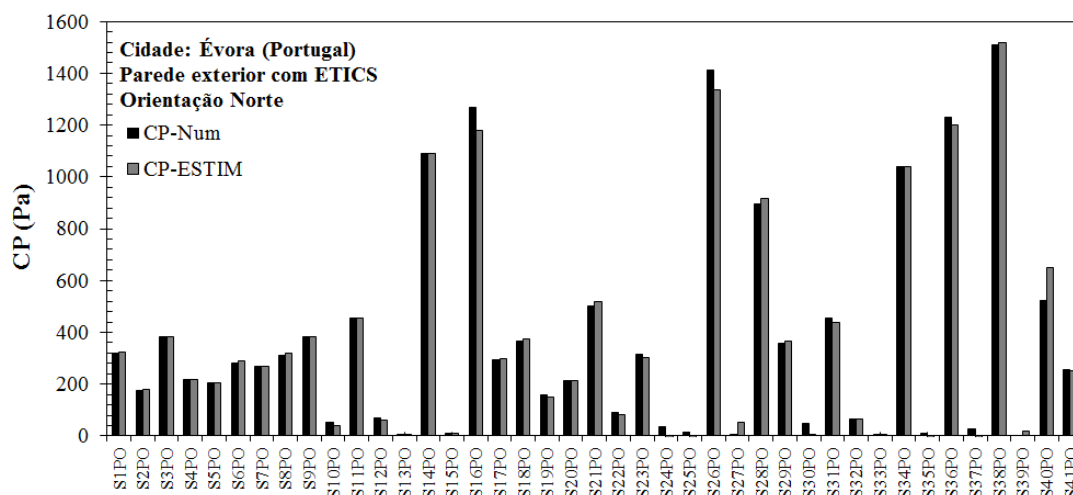


Figura 4. 18 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Évora e orientação Norte

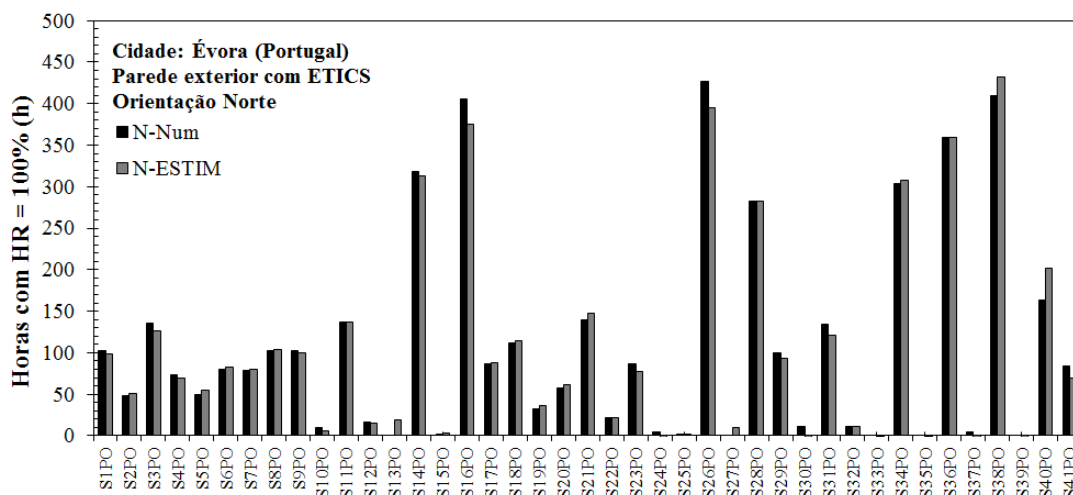


Figura 4. 19 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Évora e orientação Norte

As Figuras 4.18 e 4.19 correspondem ao cenário da cidade de Évora, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 3, 5, 14 e 34, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 28 e 32, com uma variação percentual de 0%.

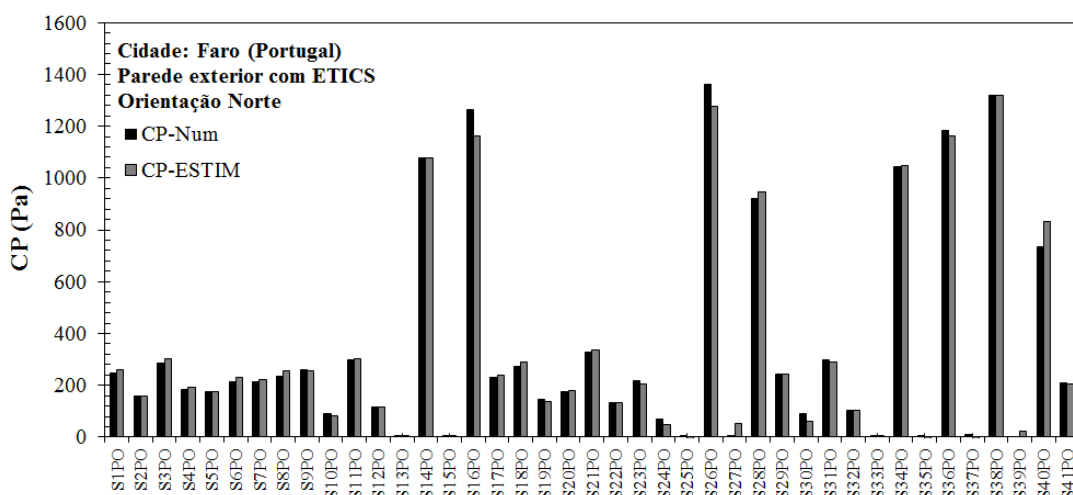


Figura 4. 20 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Faro e orientação Norte

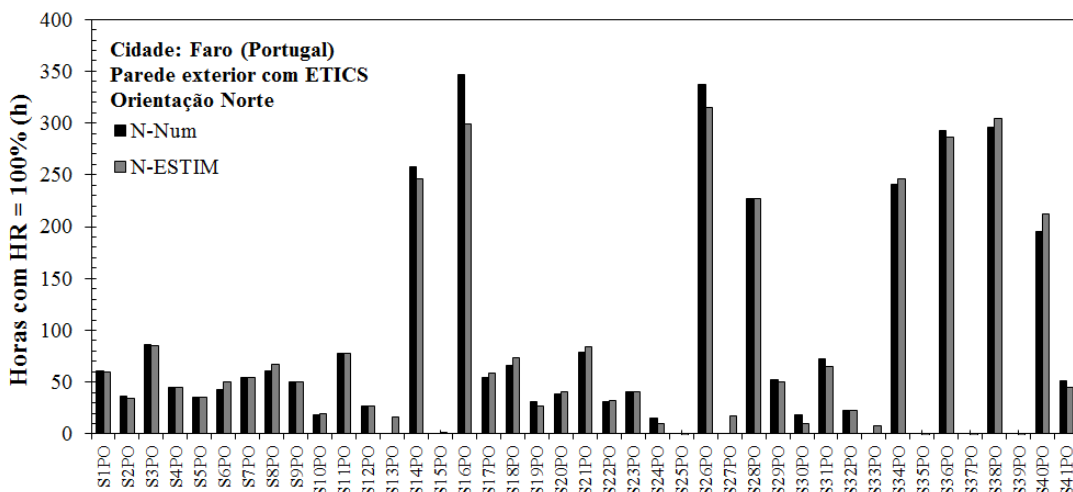


Figura 4. 21 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Faro e orientação Norte

Os gráficos das Figuras 4.20 e 4.21 correspondem ao cenário da cidade de Faro, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 2 e 38, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 28, com uma variação percentual de 0%.

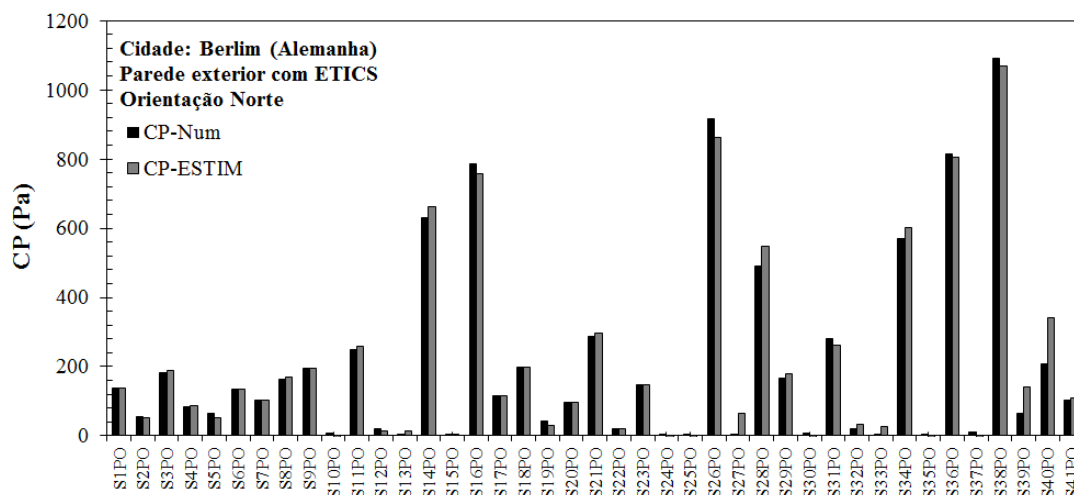


Figura 4. 22 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Berlim e orientação Norte

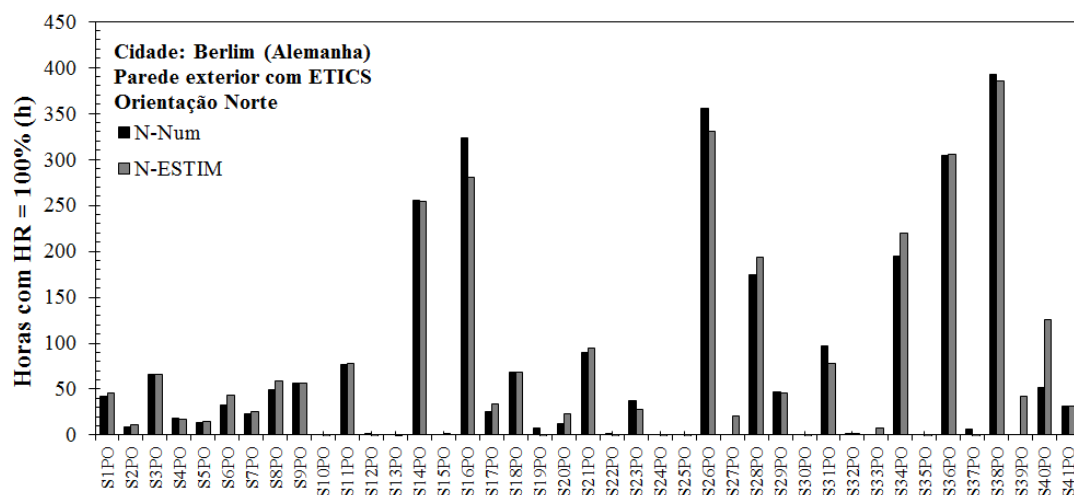


Figura 4. 23 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Berlim e orientação Norte

As Figuras 4.22 e 4.23 correspondem ao cenário da cidade de Berlim, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 1 e 22, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 3, com uma variação percentual de 0%.

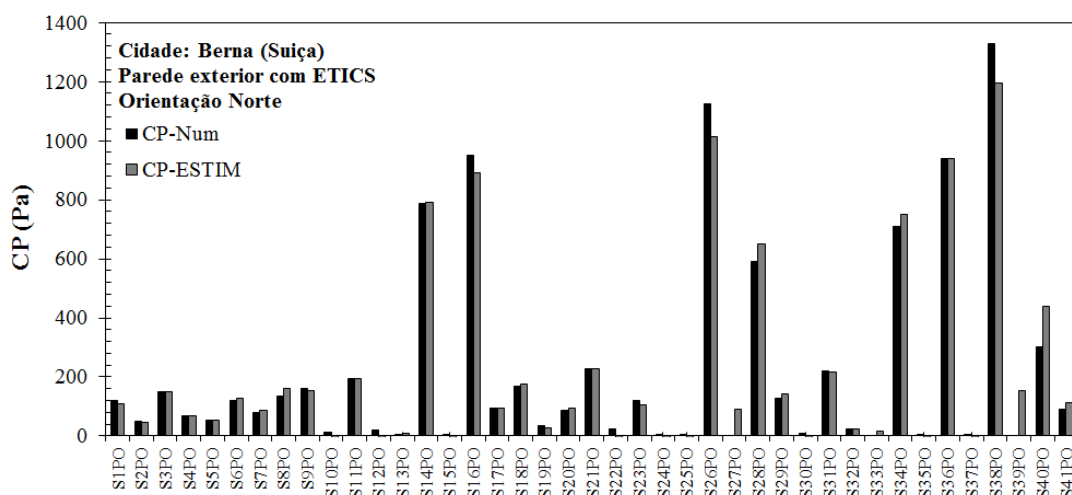


Figura 4. 24 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Berna e orientação Norte

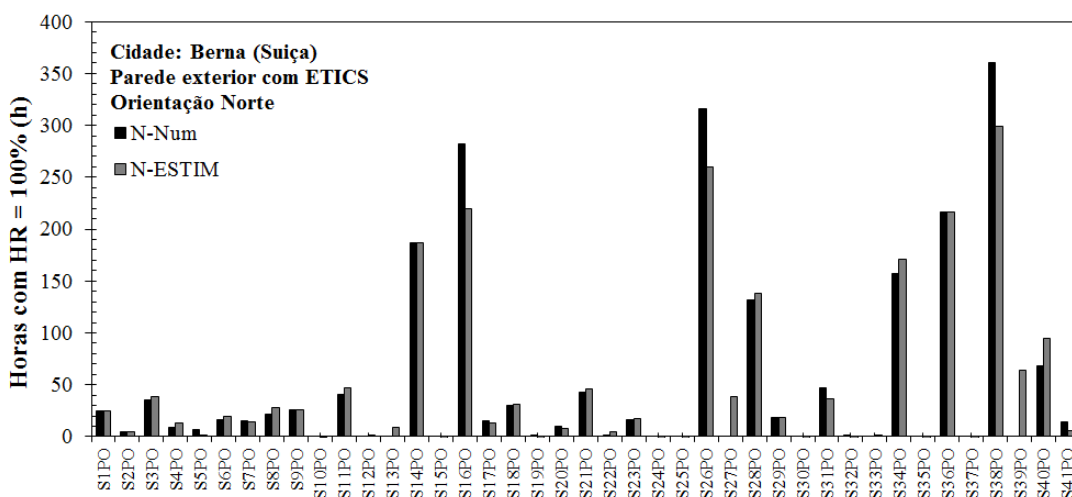


Figura 4. 25 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Berna e orientação Norte

As Figuras 4.24 e 4.25 correspondem ao cenário da cidade de Berna, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 3, 4 e 36, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 2, 14 e 36, com uma variação percentual de 0%.

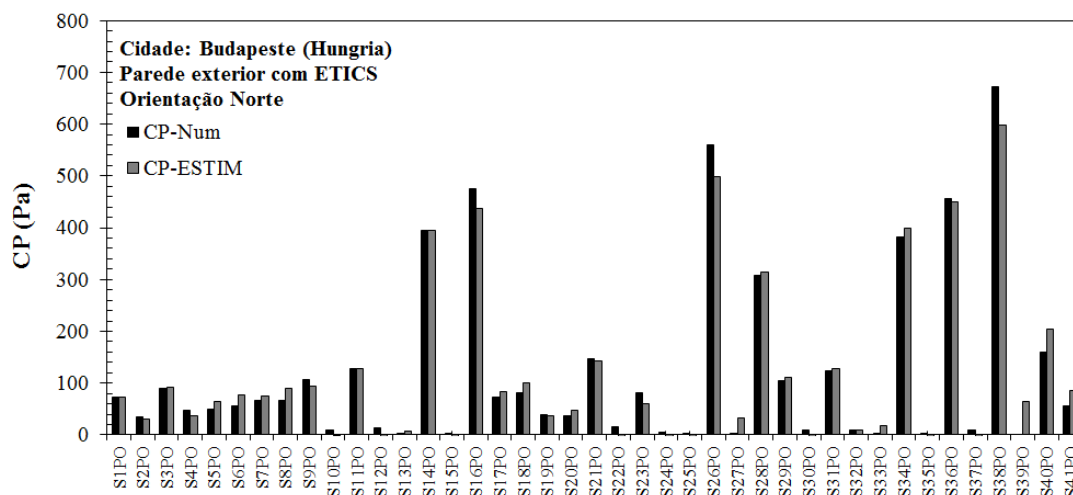


Figura 4. 26 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Budapeste e orientação Norte

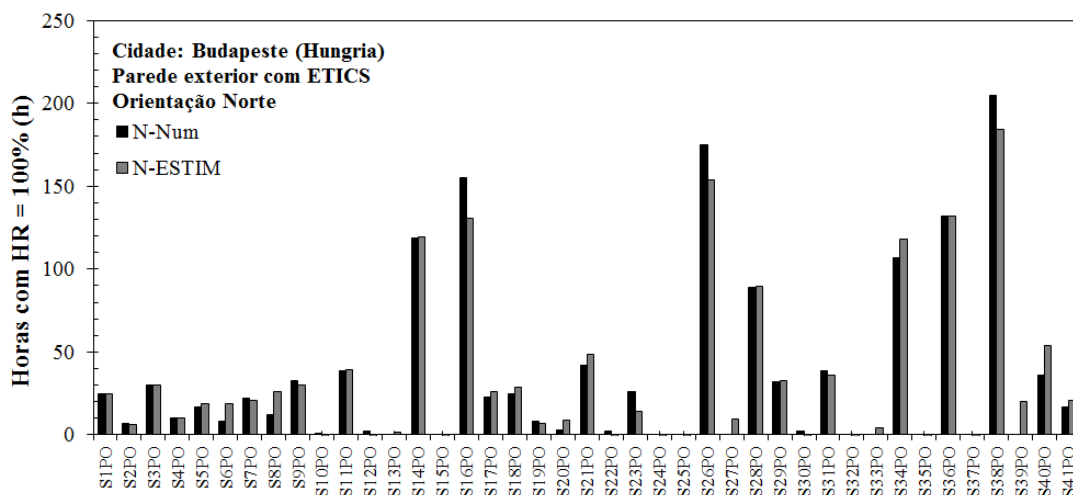


Figura 4. 27 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Budapeste e orientação Norte

As Figuras 4.26 e 4.27 correspondem ao cenário da cidade de Budapeste, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 11, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 1 e 36, com uma variação percentual de 0%.



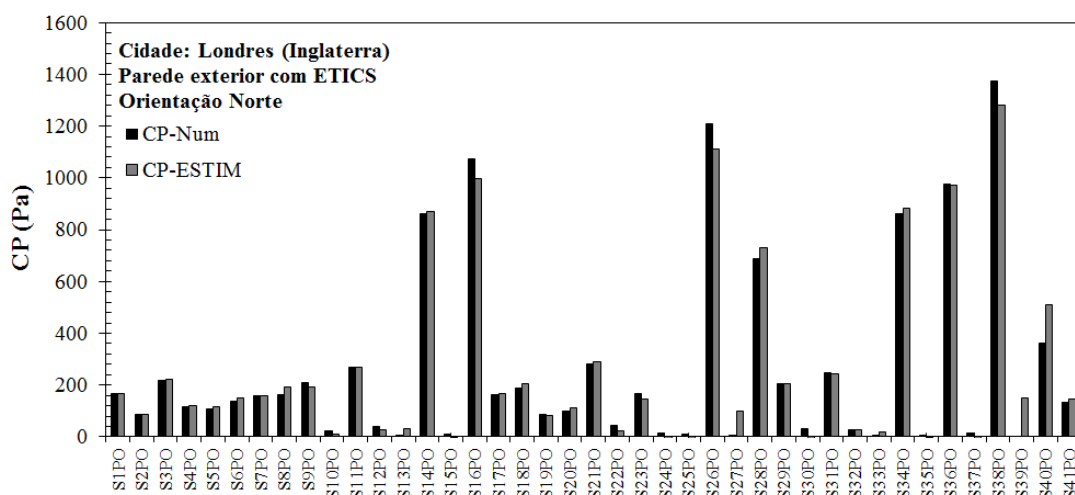


Figura 4. 28 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Londres e orientação Norte

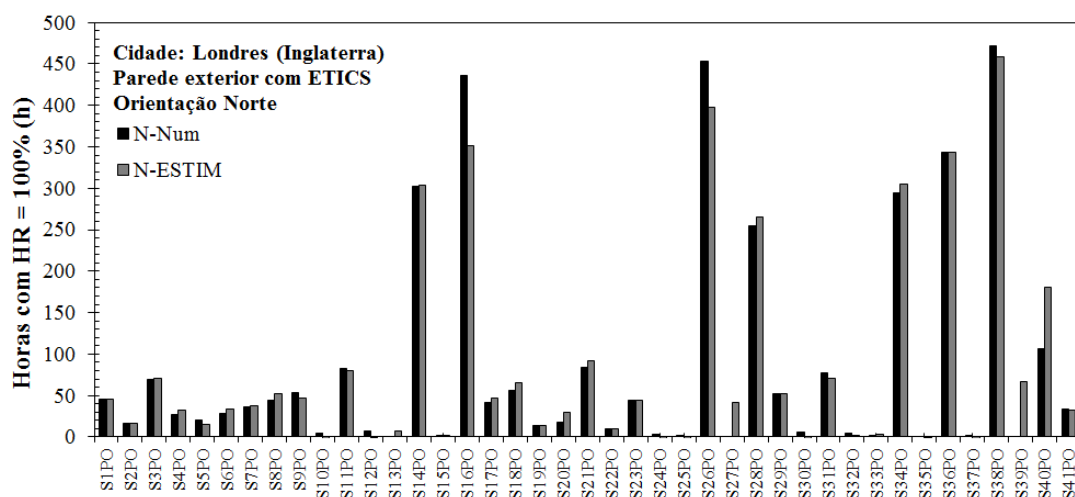


Figura 4. 29 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Londres e orientação Norte

As Figuras 4.28 e 4.29 correspondem ao cenário da cidade de Londres, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 1 e 11, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 1, com uma variação percentual de 0%.

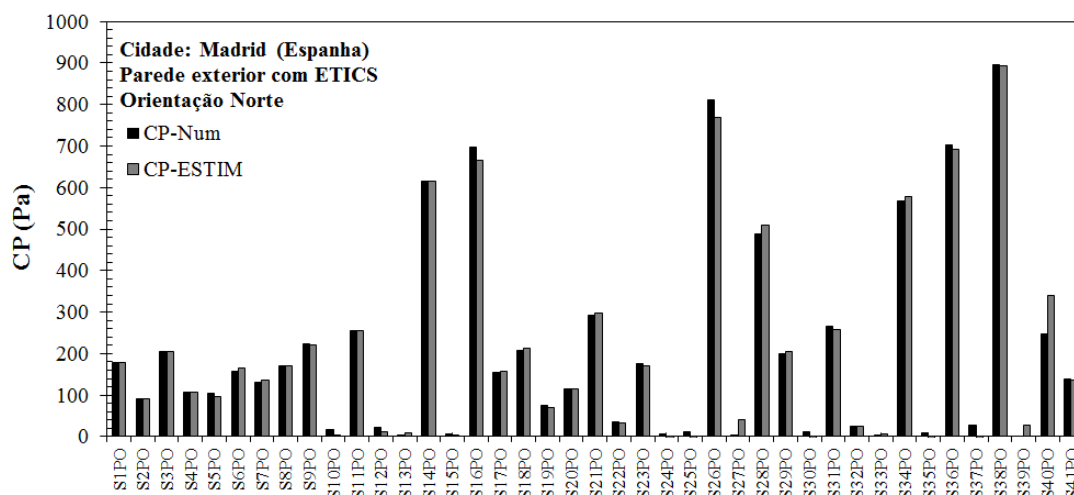


Figura 4. 30 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Madrid e orientação Norte

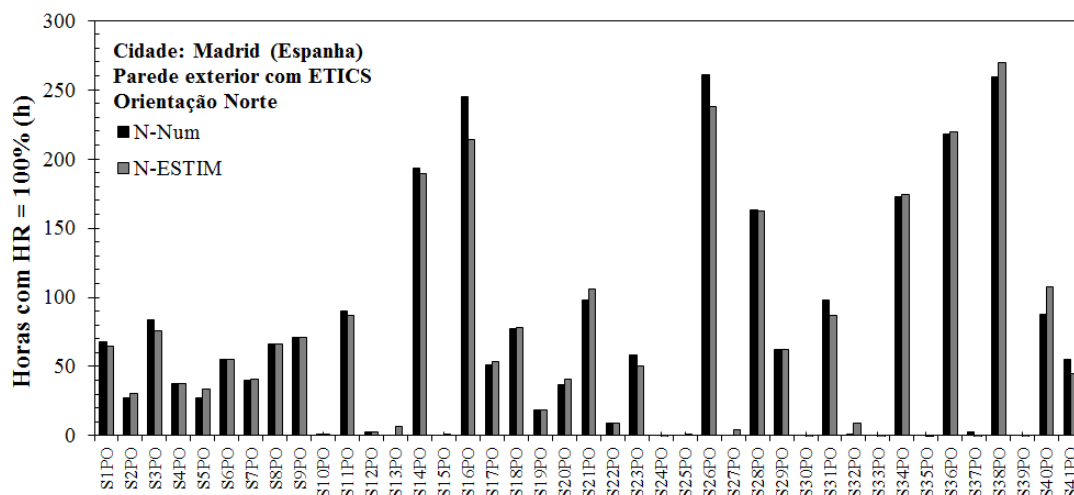


Figura 4. 31 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Madrid e orientação Norte

As Figuras 4.30 e 4.31 correspondem ao cenário da cidade de Madrid, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 1, 2 e 3, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 22, com uma variação percentual de 0%.

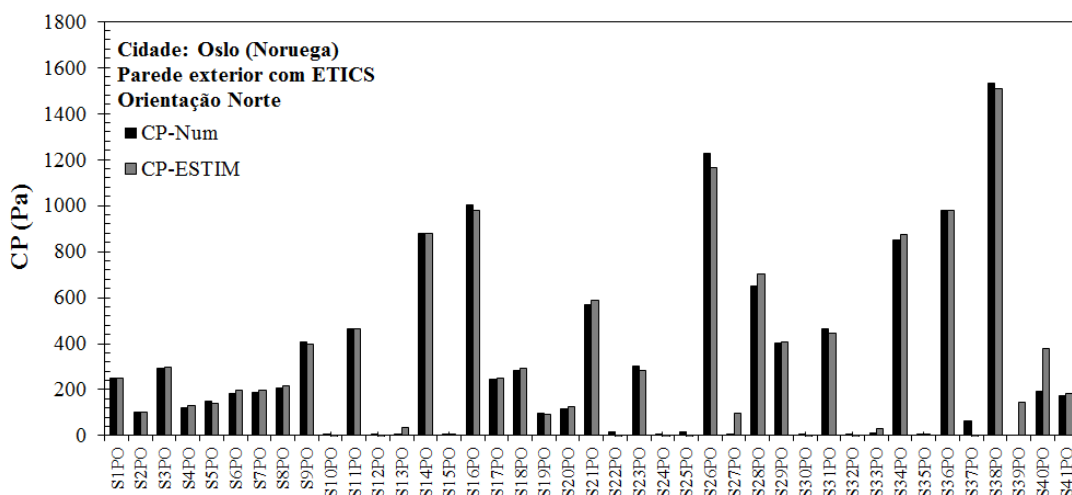


Figura 4. 32 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Oslo e orientação Norte

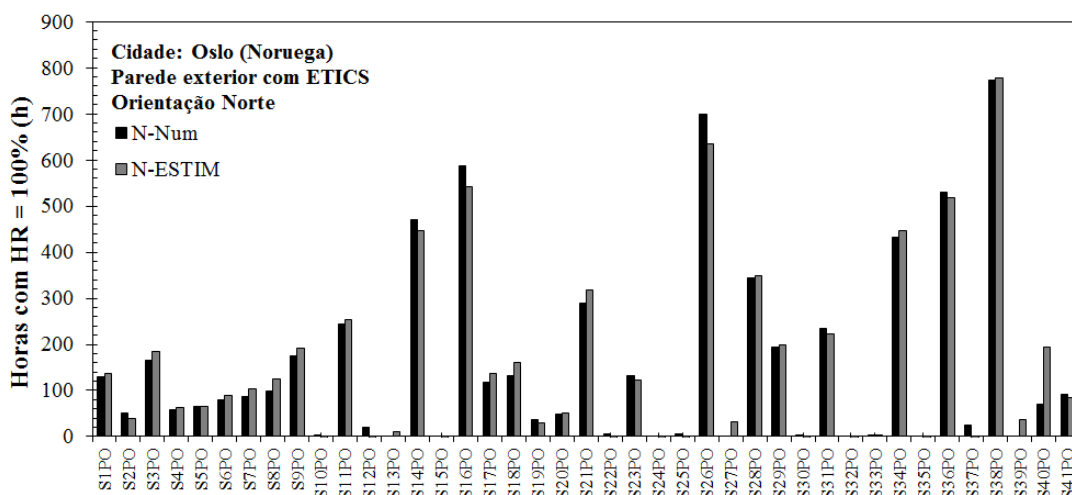


Figura 4. 33 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Oslo e orientação Norte

Os gráficos das Figuras 4.32 e 4.33 correspondem ao cenário da cidade de Oslo, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, as simulações que apresentaram melhores resultados foram as simulações 2 e 11, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 33, com uma variação percentual de 0%.

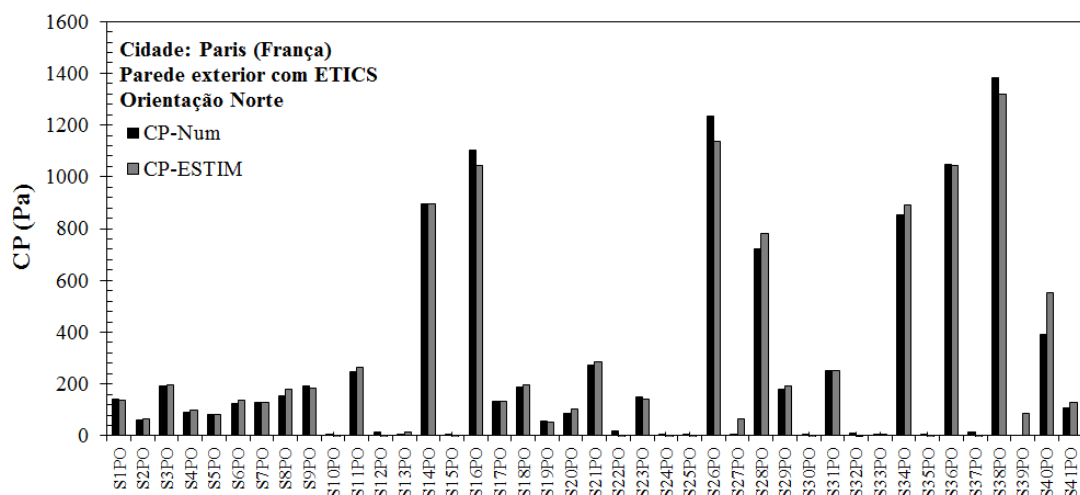


Figura 4. 34 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Paris e orientação Norte

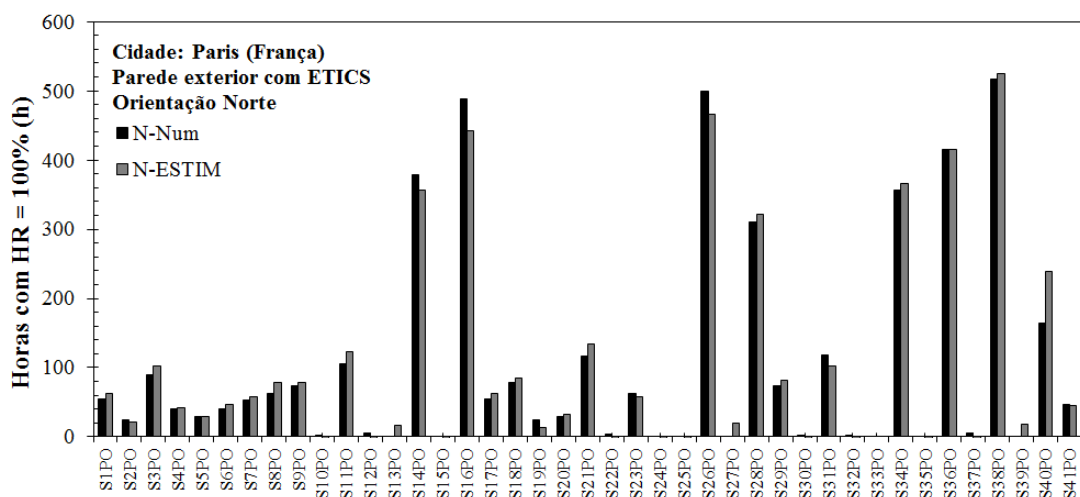


Figura 4. 35 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Paris e orientação Norte

Os gráficos das Figuras 4.34 e 4.35 correspondem ao cenário da cidade de Paris, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 33, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 36, com uma variação percentual de 0,05%.

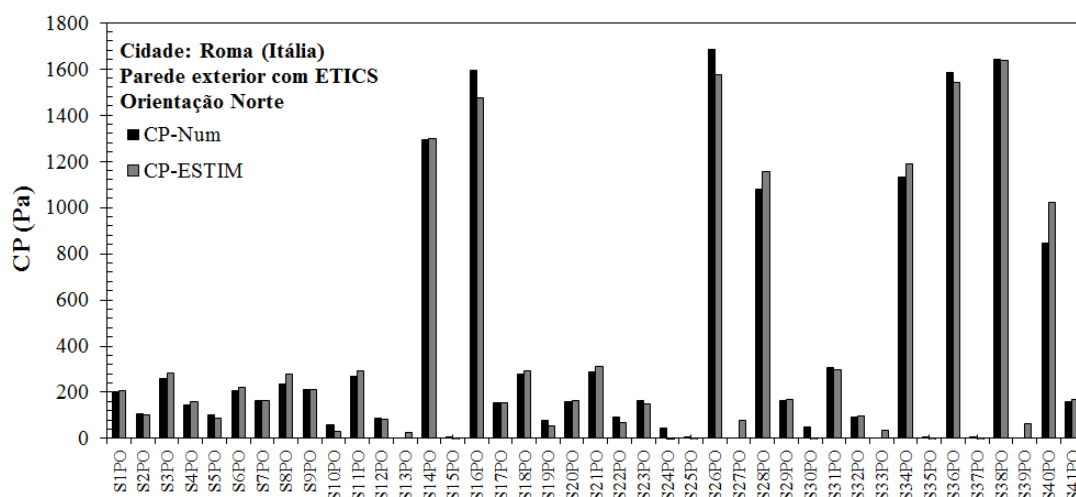


Figura 4. 36 – Relação entre os valores numéricos e os valores estimados da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo das 41 simulações da cidade de Roma e orientação Norte

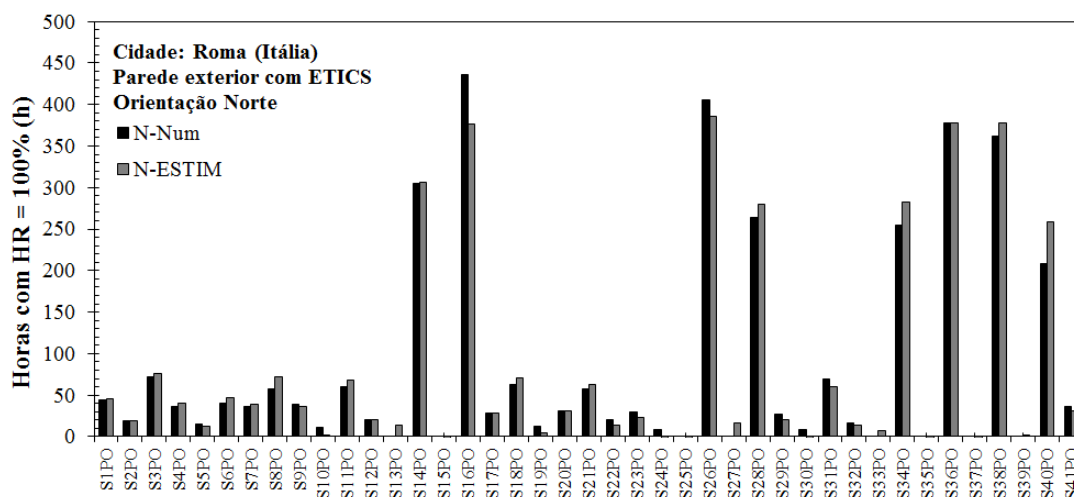


Figura 4. 37 - Relação entre os valores numéricos e os valores estimados do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% das 41 simulações da cidade de Roma e orientação Norte

As Figuras 4.36 e 4.37 correspondem ao cenário da cidade de Roma, orientação Norte. Em relação à variável dependente média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo, pode-se verificar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 7, com uma variação percentual de 0%. Relativamente à variável dependente somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, também se pode constatar que para cada simulação o valor numérico e o valor estimado são próximos na totalidade das 41 simulações. Para esta variável dependente, a simulação que apresentou melhor resultado foi a simulação 12, com uma variação percentual de 0%.

#### **4.4. SÍNTESE CRÍTICA**

Recorrendo aos resultados das simulações efetuadas com o programa WUFI, que foram apresentados no Capítulo 3, foi aplicado um meta-modelo e definidas 36 expressões matemáticas a partir das duas variáveis dependentes estudadas, para todos os cenários abordados.

Estas equações correspondem a um modelo simplificado e para ser possível formulá-las foi adotado um meta-modelo denominado de Box-Behnken. Para cada simulação de cada variável dependente de cada cenário, foram comparados os resultados numéricos, obtidos através das simulações efetuadas no software WUFI, com os respetivos resultados estimados, obtidos pelas novas fórmulas. A aproximação entre estes dois valores corresponde ao ajuste do modelo aos resultados pretendidos e essa metodologia passou pela minimização da diferença entre esses valores (erro absoluto) para todas as simulações de cada cenário. Cada equação é caracterizada por 21 coeficientes de regressão constantes e estes coeficientes, uma vez que estão interligados com o processo de minimização do erro, foram determinados quando esse processo terminou.

Foi feita uma análise estatística dos resultados para perceber melhor o ajuste dos resultados para as várias simulações. Para cada variável dependente foram calculadas as variações percentuais entre os valores estimados e os valores numéricos de todas as simulações de todos os cenários, com orientação Norte. Foram determinadas as médias desses valores para cada clima e concluiu-se que, para cada variável dependente, todos os climas apresentaram valores relativamente baixos e não muito afastados uns dos outros. Tal facto comprova uma boa aproximação entre os resultados estimados e os resultados numéricos para cada variável dependente. Também se procedeu ao cálculo, para as duas variáveis dependentes e por simulação, da média das variações percentuais a nível global, a nível nacional e a nível europeu. Para uma melhor perceção dos resultados foram criados intervalos para as melhores variações percentuais e para as piores variações percentuais de cada variável dependente. Associando os valores das variações percentuais médias de cada simulação aos respetivos intervalos que foram definidos, concluiu-se que há uma grande coerência entre os resultados a nível global, a nível nacional e a nível europeu de cada variável dependente assim como entre os resultados das duas variáveis dependentes. O interesse desta análise foi demonstrar que o modelo Box-Behnken se ajusta melhor ou pior, consoante a grandeza das variáveis dependentes e concluiu-se que as melhores aproximações são referentes às variáveis dependentes de grandeza média.

Foram também apresentados gráficos que traduzem a relação entre os resultados numéricos e os resultados estimados de cada simulação, para cada cenário e variável dependente. Através da visualização dos diversos gráficos, concluiu-se que os modelos gerados pelo Box-Behnken se ajustaram bem aos dados experimentais uma vez que os valores, numérico e estimado, são próximos. Foram então definidas uma série de equações com sucesso que permitem o cálculo das variáveis dependentes em estudo, para determinados cenários específicos, de um modo mais rápido.

# 5

## CONCLUSÕES

### 5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a conclusão da presente dissertação, pode-se afirmar que os objetivos inicialmente propostos foram atingidos.

Através da análise dos valores obtidos da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e do somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100%, para todas as simulações dos diferentes cenários, verificou-se que a combinação de parâmetros mais gravosa em termos de risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores é a correspondente à simulação 38. Esta simulação foi efetuada considerando um coeficiente de absorção de radiação de onda curta de 0,45, uma emissividade de 0,875, uma espessura do revestimento exterior de 0,0125 m, uma espessura da camada de isolamento térmico de 0,1 m e uma radiação de onda longa adicional de 0%. Concluiu-se que a radiação de onda longa adicional nula aumenta consideravelmente a ocorrência de condensações superficiais exteriores numa fachada revestida com ETICS, uma vez que corresponde sempre a valores mais elevados de potencial de condensação e de número de horas em que a humidade relativa superficial exterior iguala os 100 %. Os outros parâmetros têm um peso relativo mais ou menos semelhante, uma vez que, para o mesmo valor de radiação adicional de onda longa, a variação dos parâmetros origina valores de potencial de condensação e do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% muito próximos.

Através da análise dos gráficos horários obtidos por simulação com o WUFI, foi possível comparar diferentes formas de avaliar as condensações superficiais exteriores, constatando-se que os resultados eram semelhantes. Verificou-se também que o horário de ocorrência das condensações superficiais exteriores é essencialmente durante a noite e início da madrugada.

A avaliação anual dos climas estudados, com recurso aos valores acumulados mensais dos potenciais de condensação positivos e do número de horas em que a humidade relativa da superfície exterior iguala os 100%, possibilitou verificar que as tendências da variação dos acumulados mensais das duas variáveis têm um comportamento semelhante para cada clima. Quanto às cidades portuguesas, Porto e Coimbra verificaram ocorrência de condensações mais ou menos constantes ao longo do ano, isto é, apresentaram uma tendência linear, enquanto que as restantes cidades apresentaram uma tendência

exponencial do 2º grau, resultante dos acumulados mensais serem superiores nos meses de outono e inverno e praticamente nulos no verão. No que diz respeito às capitais europeias, Berlim, Berna, Budapeste, Londres e Paris apresentaram uma tendência linear, Madrid e Oslo apresentaram uma tendência polinomial do 2º grau e Roma foi a única cidade em que as condensações superficiais exteriores ocorreram sobretudo na primavera e verão, sendo mais reduzidas nos meses de outono e inverno.

Tendo em conta os valores do acumulado mensal e anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% e do acumulado mensal e média anual dos acumulados mensais do potencial de condensação positivo de cada cenário, foi possível comparar os diferentes climas a nível de risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores. Concluiu-se que os climas mais críticos são os das cidades de Bragança, Coimbra e Porto, para as cidades portuguesas, e Oslo e Roma, para as capitais europeias. Quanto aos climas menos críticos, ou seja, menos propícios à ocorrência de condensações, destacam-se a cidade de Castelo Branco (quando comparada com os climas portugueses) e a cidade de Budapeste (quando comparada com os climas europeus). No entanto, os dois critérios utilizados não são totalmente coerentes, uma vez que a ordenação das cidades em função da tendência para ocorrência de condensações superficiais exteriores não é equivalente. No futuro, será necessário definir qual dos dois critérios é o mais adequado para avaliar a ocorrência de condensações superficiais exteriores em fachadas revestidas com ETICS.

Com recurso aos resultados das 738 simulações efetuadas com o programa WUFI, foi aplicado um meta-modelo (Box-Behnken) para definir 36 expressões matemáticas correspondentes às duas variáveis dependentes estudadas, para os 18 cenários abordados. Para ser possível validar as fórmulas, foram calculadas, para cada variável dependente, as variações percentuais entre os valores estimados e os valores numéricos de todas as simulações para todos os cenários com orientação Norte, e também foram apresentados gráficos para todos os cenários. Através da análise das variações percentuais e da visualização dos diversos gráficos, concluiu-se que os modelos gerados pelo Box-Behnken se ajustaram bem aos dados experimentais uma vez que os valores, numérico e estimado, são próximos. Deste modo, foram definidas equações que permitem o cálculo de parâmetros de avaliação do risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores, para determinados cenários específicos, de um modo mais rápido do que a simulação com programas higrotérmicos. Cada fórmula é caracterizada por 21 coeficientes de regressão constantes e as variáveis dependentes, correspondentes às fórmulas deduzidas, são a média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas em que a humidade relativa da superfície exterior iguala os 100%.

## **5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Os resultados desta dissertação correspondem a uma pequena contribuição para a investigação na área dos meta-modelos aplicados à avaliação da ocorrência de condensações superficiais em fachadas revestidas com ETICS e constituem um ponto de partida para possíveis desenvolvimentos futuros, nomeadamente:

- Avaliar o parâmetro mais adequado para o estudo do risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores (potencial de condensação positivo ou número de horas em que a humidade relativa da superfície exterior iguala os 100%).



- Simular as mesmas combinações e climas mas para as orientações Sul, Este e Oeste e usar os resultados das simulações efetuadas nesta dissertação para fazer uma comparação em termos de orientação.
- Simular os mesmos cenários da presente dissertação mas considerando a chuva incidente (uma vez que este parâmetro foi bloqueado neste trabalho) e avaliar a sua influência nos resultados.
- Simular as mesmas combinações e orientação da presente dissertação mas para climas de cidades de outros Continentes e usar os resultados das simulações efetuadas nesta dissertação para fazer uma comparação entre climas de diferentes Continentes.
- Tentar definir um modelo genérico que possa ser utilizado em diversas situações, nomeadamente, para um determinado país ou para zonas com determinadas características específicas (junto à costa, interior, etc.).
- Aplicar os modelos desenvolvidos para a avaliação estocástica do risco de ocorrência de condensações superficiais exteriores em fachadas revestidas com ETICS e para a definição de critérios de segurança.



## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Barreira, E. Degradação biológica de fachadas com sistemas de isolamento térmico pelo exterior devida ao desempenho higrotérmico, Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.
- [2] <http://www.futureng.pt/etics> (15/04/2013).
- [3] Freitas, V. Isolamento Térmico de Fachadas pelo exterior- Reboco Delgado Armado sobre Poliestireno Expandido- ETICS, Relatório- HT 191 A/02, Prof. Eng. Vasco Peixoto de Freitas, Lda, Porto 2012.
- [4] EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS – EOTA (2000) Guideline for european technical approval of external thermal insulation composite systems with rendering – ETAG n.º004. EOTA, Brussels, Belgium.
- [5] <http://www.omniscolor.hr/69/toplinska-izolacija-fasada-etics> (21/06/2013).
- [6] Freitas, V., Gonçalves, P. Isolamento térmico de fachadas pelo exterior- Reboco Delgado Armado sobre Poliestireno Expandido, ETICS. <http://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/ETICS> (16/04/2013).
- [7] <http://www.patorreb.com/pt/default.asp?op=201&ficha=039#> (18/04/2013).
- [8] Qualite Construction – L'isolation thermique par L'Extérieur – Enduit mince sur isolant. Agence pour la Prévention des Désordres et l'Amélioration de la Qualité de la Construction.
- [9] Incropera, F. DeWitt, D. Fundamentals of heat and mass transfer. John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2001.
- [10] Pinto, A. Influência do clima nas condensações superficiais exteriores em fachadas revestidas com ETICS. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2011.
- [11] Kreith, F., Bohn, M. Principios de transferência de calor. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2003.
- [12] Hagentoft, C-E. Introduction to building physics. Student litteratur, Lund, Sweden, 2001.
- [13] Kunzel, H. Simultaneous heat and moisture transport in building components – One and two-dimensional calculation using simple parameters. IRB Verlag, Stuttgart, Germany, 1995.
- [14] Rocha, M. Avaliação do efeito de um obstáculo na temperatura superficial de fachadas revestidas com ETICS. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2011.
- [15] <http://10anocvg.blogspot.pt/> (26/04/2013).
- [16] Holman, J. Transferência de calor. McGraw-Hill do Brasil editora, São Paulo, 1983.
- [17] Freita, V.P., Pinto, P. Permeabilidade ao vapor de materiais de construção – Condensações internas. NIT 002, LFC, Porto, 1998.
- [18] Freitas, V., Pinto, P. Humidade na construção – Humidade de condensação [https://www.fe.up.pt/si/conteudos\\_service.conteudos\\_cont?pct\\_id=26841&pv\\_cod=59M9aaa4UyJ](https://www.fe.up.pt/si/conteudos_service.conteudos_cont?pct_id=26841&pv_cod=59M9aaa4UyJ) (13/05/2013).
- [19] American Society for Testing and Materials (ASTM). Development, Use, and Performance of Exterior Insulation and Finish System. ASTM STP 1187. Philadelphia, USA, 1995.

- [20] <http://paginas.fe.up.pt/~wufi/index.html> (27/05/2013).
- [21] Ramos, N., Barreira, E., Simões, M., Delgado, J., Probabilistic risk assessment applied to biological growth on external surfaces with ETICS, aceite para publicação no BSIM 2013.
- [22] METEOTEST (2007) Meteoronorm – Version 6.0. Meteotest, Bern, Switzerland.
- [23] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Portugal\\_location\\_map.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Portugal_location_map.svg) (16/05/2013).
- [24] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Projetos/Pa%C3%ADses/Europa/Mapa\\_pol%C3%ADtico](http://pt.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Projetos/Pa%C3%ADses/Europa/Mapa_pol%C3%ADtico) (16/05/2013).
- [25] Hopkinson, C. S., Buffam, I., Hobbie, J., Vallino, J., Perdue, M., et al., Biogeochemistry, 43(3): 211-234, 1998.
- [26] Box, G., Hunter, J. e Hunter, W., Statistics for Experimenters, 2 ed., Wiley-Interscience, New York, 2005.
- [27] Box, G. e Wilson, K., Journal of the Royal Statistical Society 13: 1-45, 1951.
- [28] Meyers, R.H.; Montgomery, D.C. Response surface methodology: Process and product optimization using design experiments. Ed. John Wiley & Sons, New York, 1995.
- [29] Nakai, S., Li-chan, E. e Dou, J., eds., Chapter 9: Experimental Design and Response-Surface Methodology, Handbook of Food and Bioprocess Modeling Techniques, ed. Shyam Sablani, et al. Taylor & Francis Group, LLC, 2006.
- [30] Gardenghi, J., Santos, S. Sistemas não lineares via região de confiança: o algoritmo de Levenberg-Marquardt, Departamento de Matemática Aplicada - IMECC – UNICAMP, 2011.

# **ANEXOS**

Tabela A. 1 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para o Porto, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Porto - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL						
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.P.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	271	61	272	0,73	61	0
SE.P.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	156	30	156	0,06	31	1
SE.P.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	323	88	342	18,89	95	7
SE.P.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	185	46	193	8,06	59	13
SE.P.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	165	26	157	7,35	21	5
SE.P.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	257	53	257	0,04	57	4
SE.P.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	219	49	217	1,50	52	3
SE.P.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	285	73	304	19,60	88	15
SE.P.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	301	57	288	12,87	57	0
SE.P.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	82	15	56	26,53	4	11
SE.P.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	352	86	354	1,86	96	10
SE.P.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	107	27	98	9,51	27	0
SE.P.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	6	4	95	89,56	12	8
SE.P.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	1618	396	1618	0,00	396	0
SE.P.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	7	4	6	1,09	-3	7
SE.P.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	1974	574	1815	159,28	473	101
SE.P.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	230	43	240	9,76	44	1
SE.P.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	339	70	346	6,86	83	13
SE.P.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	126	17	120	6,03	14	3
SE.P.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	200	43	200	0,25	47	4
SE.P.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	388	89	411	22,49	97	8
SE.P.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	123	25	105	17,99	13	12
SE.P.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	240	41	217	22,90	41	0
SE.P.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	61	12	34	27,77	3	9
SE.P.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	8	4	-80	87,79	-28	32
SE.P.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	2097	549	1965	132,57	485	64
SE.P.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	4	3	166	162,03	22	19
SE.P.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	1346	362	1454	107,72	368	6
SE.P.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	259	45	259	0,00	43	2
SE.P.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	73	14	17	55,58	-17	31
SE.P.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	387	93	355	31,96	80	13
SE.P.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	108	20	108	0,15	18	2
SE.P.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	5	3	112	107,02	3	0
SE.P.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	1464	356	1533	69,23	370	14
SE.P.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	7	4	-40	46,06	-24	28
SE.P.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	1907	484	1871	35,23	469	15
SE.P.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	11	4	-173	184,09	-54	58
SE.P.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	2086	508	2086	0,35	507	1
SE.P.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	176	175,36	16	16
SE.P.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	996	253	1249	252,76	315	62
SE.P.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	217	47	220	2,21	40	7
SE.P.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	217	47	220	2,21	40	7
SE.P.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	217	47	220	2,21	40	7
SE.P.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	217	47	220	2,21	40	7
SE.P.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	217	47	220	2,21	40	7
								Sum	1921	Sum	606
								Max	253	Max	101

Tabela A. 2 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para o Porto, orientação Sul.

Ref.	Descrição: Porto - Sul					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL						
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.P.S1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	251	54	250	1,00	57	3
SE.P.S2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	144	26	144	0,50	25	1
SE.P.S3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	351	84	361	10,14	87	3
SE.P.S4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	208	51	231	23,15	54	3
SE.P.S5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	150	21	141	9,47	13	8
SE.P.S6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	237	46	239	1,93	47	1
SE.P.S7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	248	47	246	1,75	47	0
SE.P.S8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	299	73	332	32,67	71	2
SE.P.S9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	281	51	279	2,19	51	0
SE.P.S10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	67	11	31	35,74	5	6
SE.P.S11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	373	83	390	16,79	89	6
SE.P.S12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	126	30	118	7,99	26	4
SE.P.S13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	5	3	34	28,72	3	0
SE.P.S14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	1525	361	1526	1,26	361	0
SE.P.S15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	8	4	-6	14,38	4	0
SE.P.S16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	1982	504	1764	218,02	419	85
SE.P.S17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	227	45	228	1,31	45	0
SE.P.S18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	323	77	333	10,22	77	0
SE.P.S19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	123	18	123	0,20	15	3
SE.P.S20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	189	39	203	13,48	41	2
SE.P.S21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	378	85	406	28,00	91	6
SE.P.S22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	114	24	85	28,98	26	2
SE.P.S23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	231	43	227	3,96	48	5
SE.P.S24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	53	10	28	24,19	4	6
SE.P.S25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	8	4	-153	161,20	-19	23
SE.P.S26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	2024	500	1894	129,39	445	55
SE.P.S27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	5	3	145	140,77	26	23
SE.P.S28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	1302	327	1360	58,19	334	7
SE.P.S29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	254	46	263	8,88	44	2
SE.P.S30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	66	12	5	61,22	-10	22
SE.P.S31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	371	88	357	13,55	73	15
SE.P.S32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	95	16	95	0,00	18	2
SE.P.S33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	6	3	66	59,64	13	10
SE.P.S34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	1420	323	1451	31,11	329	6
SE.P.S35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	6	4	-87	93,60	-29	33
SE.P.S36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	1829	435	1789	40,48	428	7
SE.P.S37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	11	4	-207	218,19	-42	46
SE.P.S38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	2012	463	2007	5,15	463	0
SE.P.S39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	116	115,69	22	22
SE.P.S40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	944	238	1163	219,38	290	52
SE.P.S41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	210	48	215	4,57	33	15
SE.P.S41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	210	48	215	4,57	33	15
SE.P.S41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	210	48	215	4,57	33	15
SE.P.S41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	210	48	215	4,57	33	15
SE.P.S41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	210	48	215	4,57	33	15
								Sum	1877	Sum	486
								Max	219	Max	85

Tabela A. 3 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para o Porto, orientação Este.

Ref.	Descrição: Porto - Este					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL						
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.P.E1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	257	53	263	5,94	57	4
SE.P.E2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	145	26	135	9,40	25	1
SE.P.E3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	289	64	318	29,31	67	3
SE.P.E4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	167	35	180	13,69	36	1
SE.P.E5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	152	21	131	20,48	18	3
SE.P.E6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	243	47	252	8,90	50	3
SE.P.E7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	178	29	178	0,01	29	0
SE.P.E8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	272	55	306	34,11	60	5
SE.P.E9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	288	50	288	0,00	50	0
SE.P.E10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	68	12	23	44,81	5	7
SE.P.E11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	317	60	341	24,02	63	3
SE.P.E12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	92	18	71	21,19	13	5
SE.P.E13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	4	4	40	35,72	6	2
SE.P.E14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	1578	344	1589	10,68	344	0
SE.P.E15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	6	4	-1	7,05	4	0
SE.P.E16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	1785	421	1731	54,17	367	54
SE.P.E17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	215	38	214	0,89	40	2
SE.P.E18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	326	65	353	26,39	75	10
SE.P.E19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	116	12	96	20,44	12	0
SE.P.E20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	191	37	206	14,85	40	3
SE.P.E21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	374	79	401	26,52	81	2
SE.P.E22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	111	22	94	17,95	21	1
SE.P.E23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	229	38	228	1,15	37	1
SE.P.E24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	51	10	1	50,17	2	8
SE.P.E25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	6	5	-115	121,13	-17	22
SE.P.E26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	2045	458	1927	118,41	414	44
SE.P.E27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	3	3	154	150,45	31	28
SE.P.E28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	1319	291	1393	73,69	303	12
SE.P.E29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	243	41	243	0,19	36	5
SE.P.E30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	62	10	-20	82,38	-11	21
SE.P.E31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	375	85	371	4,52	69	16
SE.P.E32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	95	15	100	5,01	19	4
SE.P.E33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	4	3	64	59,83	21	18
SE.P.E34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	1418	273	1476	57,93	299	26
SE.P.E35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	5	4	-40	44,70	-20	24
SE.P.E36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	1875	410	1829	45,87	403	7
SE.P.E37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	9	4	-178	186,74	-37	41
SE.P.E38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	2041	423	2038	3,15	422	1
SE.P.E39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	130	130,16	24	24
SE.P.E40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	952	210	1195	242,71	266	56
SE.P.E41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	206	40	209	2,97	35	5
SE.P.E41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	206	40	209	2,97	35	5
SE.P.E41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	206	40	209	2,97	35	5
SE.P.E41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	206	40	209	2,97	35	5
SE.P.E41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	206	40	209	2,97	35	5
								Sum	1808	Sum	474
								Max	243	Max	56



Tabela A. 4 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para o Porto, orientação Oeste.

Ref.	Descrição: Porto - Oeste					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]						
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL	CP	RH=100%				
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.P.01	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	260	61	260	0,21	62	1
SE.P.02	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	149	25	149	0,01	25	0
SE.P.03	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	371	103	383	11,42	103	0
SE.P.04	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	221	56	233	11,31	63	7
SE.P.05	0,7	0,875	0,02	0,07	5	157	24	141	15,28	22	2
SE.P.06	0,7	0,875	0,005	0,07	5	244	52	250	6,33	52	0
SE.P.07	0,2	0,875	0,02	0,07	5	273	58	273	0,14	62	4
SE.P.08	0,2	0,875	0,005	0,07	5	307	85	325	17,83	91	6
SE.P.09	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	290	58	271	19,32	54	4
SE.P.010	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	70	12	47	23,14	2	10
SE.P.011	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	398	99	398	0,05	103	4
SE.P.012	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	132	34	126	5,77	32	2
SE.P.013	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	7	3	128	121,74	4	1
SE.P.014	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	1518	388	1518	0,08	388	0
SE.P.015	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	9	4	2	6,97	-7	11
SE.P.016	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	2069	593	1851	218,22	478	115
SE.P.017	0,45	0,95	0,02	0,07	5	236	47	248	11,67	53	6
SE.P.018	0,45	0,95	0,005	0,07	5	330	75	339	9,24	86	11
SE.P.019	0,45	0,8	0,02	0,07	5	128	19	128	0,14	18	1
SE.P.020	0,45	0,8	0,005	0,07	5	193	40	198	4,88	45	5
SE.P.021	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	389	93	401	12,16	99	6
SE.P.022	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	118	25	112	6,51	23	2
SE.P.023	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	240	46	229	10,33	45	1
SE.P.024	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	55	11	23	31,85	-1	12
SE.P.025	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	10	4	-77	87,60	-29	33
SE.P.026	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	2043	551	1920	123,69	487	64
SE.P.027	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	6	3	170	164,43	14	11
SE.P.028	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	1298	360	1412	113,17	367	7
SE.P.029	0,45	0,875	0,02	0,1	5	265	50	265	0,03	50	0
SE.P.030	0,45	0,875	0,02	0,04	5	69	11	20	49,29	-10	21
SE.P.031	0,45	0,875	0,005	0,1	5	378	98	348	29,89	81	17
SE.P.032	0,45	0,875	0,005	0,04	5	97	18	97	0,00	19	1
SE.P.033	0,45	0,875	0,02	0,07	10	7	3	110	102,46	6	3
SE.P.034	0,45	0,875	0,02	0,07	0	1427	357	1504	76,91	371	14
SE.P.035	0,45	0,875	0,005	0,07	10	8	4	-34	42,62	-34	38
SE.P.036	0,45	0,875	0,005	0,07	0	1834	485	1810	24,31	470	15
SE.P.037	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	14	4	-163	176,78	-55	59
SE.P.038	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	2032	504	2032	0,01	504	0
SE.P.039	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	164	163,90	8	8
SE.P.040	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	939	261	1208	269,47	318	57
SE.P.041	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	217	50	219	2,46	44	6
SE.P.041	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	217	50	219	2,46	44	6
SE.P.041	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	217	50	219	2,46	44	6
SE.P.041	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	217	50	219	2,46	44	6
SE.P.041	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	217	50	219	2,46	44	6
								Sum	1972	Sum	564
								Max	269	Max	115

Tabela A. 5 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Bragança, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Bragança - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL						
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.B.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	327	100	336	9,43	102	2
SE.B.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	159	48	139	20,60	44	4
SE.B.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	414	147	436	22,73	158	11
SE.B.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	213	73	202	10,69	77	4
SE.B.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	189	48	180	8,86	43	5
SE.B.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	288	86	289	1,01	90	4
SE.B.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	278	83	280	1,57	94	11
SE.B.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	335	113	353	18,49	129	16
SE.B.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	430	112	445	15,12	118	6
SE.B.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	17	1	-41	58,32	-14	15
SE.B.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	535	173	571	36,36	192	19
SE.B.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	34	2	-3	36,96	1	1
SE.B.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	8	0	27	18,80	36	36
SE.B.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	1262	403	1234	27,97	372	31
SE.B.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	13	2	-15	27,48	2	0
SE.B.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	1514	563	1439	74,60	496	67
SE.B.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	303	84	321	17,60	93	9
SE.B.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	401	129	420	19,10	137	8
SE.B.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	142	34	113	28,93	26	8
SE.B.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	208	64	196	12,62	64	0
SE.B.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	589	174	650	60,76	203	29
SE.B.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	51	4	26	25,35	-3	7
SE.B.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	348	93	340	8,31	89	4
SE.B.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	7	0	-97	103,55	-28	28
SE.B.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	19	2	-72	91,21	-16	18
SE.B.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	1705	567	1604	101,26	520	47
SE.B.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	4	0	57	53,67	36	36
SE.B.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	1001	325	1042	41,65	330	5
SE.B.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	400	107	445	45,16	118	11
SE.B.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	15	1	-82	96,88	-41	42
SE.B.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	535	173	539	4,27	161	12
SE.B.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	29	2	6	23,04	-2	4
SE.B.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	8	0	8	0,00	11	11
SE.B.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	1200	359	1211	11,42	370	11
SE.B.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	10	2	-29	38,80	-4	6
SE.B.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	1456	473	1430	26,40	467	6
SE.B.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	50	11	-142	192,06	-43	54
SE.B.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	1953	597	1918	35,60	597	0
SE.B.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	57	56,69	21	21
SE.B.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	445	136	658	212,86	211	75
SE.B.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	257	84	259	2,11	74	10
SE.B.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	257	84	259	2,11	74	10
SE.B.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	257	84	259	2,11	74	10
SE.B.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	257	84	259	2,11	74	10
SE.B.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	257	84	259	2,11	74	10
								Sum	1698	Sum	693
								Max	213	Max	75

Tabela A. 6 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Coimbra, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Coimbra - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]						
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL	CP	RH=100%				
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.C.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	373	89	382	9,51	92	3
SE.C.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	209	50	209	0,14	50	0
SE.C.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	455	137	477	22,04	137	0
SE.C.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	260	74	274	14,13	78	4
SE.C.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	222	46	200	22,15	37	9
SE.C.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	354	78	380	26,22	80	2
SE.C.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	305	75	305	0,20	74	1
SE.C.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	399	107	434	35,14	117	10
SE.C.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	422	89	422	0,20	86	3
SE.C.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	94	18	59	35,25	12	6
SE.C.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	508	137	528	19,87	137	0
SE.C.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	129	37	113	16,61	34	3
SE.C.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	2	0	75	72,25	9	9
SE.C.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	1906	484	1925	18,60	485	1
SE.C.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	7	1	6	1,25	0	1
SE.C.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	2309	681	2153	155,51	568	113
SE.C.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	322	72	318	4,38	78	6
SE.C.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	466	115	487	21,32	125	10
SE.C.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	170	40	144	25,76	31	9
SE.C.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	276	68	284	8,65	71	3
SE.C.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	556	135	579	22,79	148	13
SE.C.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	151	37	127	23,59	36	1
SE.C.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	339	74	329	10,73	74	0
SE.C.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	64	14	1	63,10	9	5
SE.C.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	7	0	-115	122,39	-23	23
SE.C.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	2487	678	2339	147,43	604	74
SE.C.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	0	0	153	152,52	31	31
SE.C.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	1580	442	1695	114,90	448	6
SE.C.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	369	75	368	0,21	76	1
SE.C.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	77	15	-17	93,71	-11	26
SE.C.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	545	141	528	17,51	121	20
SE.C.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	133	28	133	0,20	31	3
SE.C.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	1	0	64	62,92	4	4
SE.C.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	1740	452	1806	65,40	458	6
SE.C.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	6	0	-38	44,20	-21	21
SE.C.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	2260	587	2217	42,99	569	18
SE.C.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	16	2	-221	237,02	-65	67
SE.C.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	2537	640	2536	1,24	639	1
SE.C.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	148	147,93	29	29
SE.C.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	1100	298	1388	287,94	369	71
SE.C.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	302	73	302	0,00	64	9
SE.C.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	302	73	302	0,00	64	9
SE.C.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	302	73	302	0,00	64	9
SE.C.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	302	73	302	0,00	64	9
SE.C.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	302	73	302	0,00	64	9
								Sum	2168	Sum	624
								Max	288	Max	113

Tabela A. 7 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Castelo Branco, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Castelo Branco - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espeess	IsolTerm.	Rad. OL						
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.CB.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	193	56	192	0,95	57	1
SE.CB.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	98	29	86	12,35	30	1
SE.CB.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	217	77	233	15,76	79	2
SE.CB.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	112	37	113	0,65	39	2
SE.CB.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	118	31	122	3,96	31	0
SE.CB.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	162	44	166	3,79	49	5
SE.CB.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	143	43	157	14,12	49	6
SE.CB.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	175	52	199	24,03	62	10
SE.CB.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	238	60	233	4,51	63	3
SE.CB.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	29	4	-4	33,16	-1	5
SE.CB.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	268	79	283	15,67	86	7
SE.CB.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	36	8	14	22,15	7	1
SE.CB.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	3	0	3	0,00	11	11
SE.CB.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	759	234	752	6,40	221	13
SE.CB.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	5	0	-3	8,07	-1	1
SE.CB.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	861	288	827	34,84	263	25
SE.CB.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	174	49	188	13,80	55	6
SE.CB.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	219	66	235	15,40	71	5
SE.CB.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	83	22	79	4,08	22	0
SE.CB.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	119	33	118	0,95	37	4
SE.CB.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	310	90	331	20,95	95	5
SE.CB.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	55	15	33	22,58	12	3
SE.CB.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	185	52	173	11,86	50	2
SE.CB.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	14	1	-35	48,76	-9	10
SE.CB.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	8	0	-44	51,64	-2	2
SE.CB.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	987	292	934	52,91	279	13
SE.CB.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	2	0	31	29,72	9	9
SE.CB.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	615	204	633	17,75	202	2
SE.CB.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	218	61	235	17,03	61	0
SE.CB.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	24	2	-16	40,32	-9	11
SE.CB.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	279	89	280	0,44	78	11
SE.CB.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	39	8	24	14,97	5	3
SE.CB.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	3	0	3	0,66	2	2
SE.CB.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	731	219	741	9,75	219	0
SE.CB.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	5	0	-5	10,44	-2	2
SE.CB.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	837	259	836	1,43	255	4
SE.CB.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	17	0	-79	95,89	-18	18
SE.CB.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	1058	289	1060	2,31	308	19
SE.CB.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	18	17,91	0	0
SE.CB.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	343	110	458	114,18	147	37
SE.CB.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	148	49	160	12,10	43	6
SE.CB.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	148	49	160	12,10	43	6
SE.CB.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	148	49	160	12,10	43	6
SE.CB.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	148	49	160	12,10	43	6
SE.CB.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	148	49	160	12,10	43	6
								Sum	828	Sum	268
								Max	114	Max	37

Tabela A. 8 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Lisboa, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Lisboa - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP (Pa)	RH=100% (h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
	Absorp (-)	Emiss (-)	Espress (m)	IsolTerm. (m)	Rad. OL (%)						
SE.L.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	220	75	223	3,08	75	0
SE.L.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	125	38	125	0,14	38	0
SE.L.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	255	92	256	0,98	91	1
SE.L.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	147	52	151	3,63	52	0
SE.L.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	143	39	139	4,37	39	0
SE.L.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	189	61	199	9,65	66	5
SE.L.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	179	57	179	0,06	60	3
SE.L.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	209	72	218	8,73	75	3
SE.L.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	247	72	243	4,65	72	0
SE.L.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	53	9	34	18,45	8	1
SE.L.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	283	95	283	0,00	95	0
SE.L.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	67	17	52	14,68	15	2
SE.L.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	0	0	7	6,73	17	17
SE.L.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	1024	292	1025	0,16	289	3
SE.L.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	0	0	0	0,00	1	1
SE.L.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	1182	372	1090	92,09	336	36
SE.L.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	202	63	207	4,65	64	1
SE.L.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	246	82	260	14,08	85	3
SE.L.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	109	23	109	0,00	26	3
SE.L.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	147	48	155	8,55	46	2
SE.L.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	318	93	329	11,40	102	9
SE.L.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	85	18	77	7,54	22	4
SE.L.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	198	61	196	2,61	55	6
SE.L.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	36	6	8	27,90	-8	14
SE.L.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	1	0	-64	65,03	-3	3
SE.L.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	1308	376	1225	83,17	353	23
SE.L.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	0	0	70	70,17	11	11
SE.L.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	856	262	888	32,38	263	1
SE.L.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	231	69	231	0,00	63	6
SE.L.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	49	8	14	35,87	-7	15
SE.L.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	286	90	283	2,69	86	4
SE.L.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	63	12	61	1,98	12	0
SE.L.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	0	0	0	0,01	0	0
SE.L.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	998	279	999	1,46	283	4
SE.L.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	0	0	-5	4,92	0	0
SE.L.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	1119	325	1103	15,56	325	0
SE.L.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	2	0	-101	102,85	-18	18
SE.L.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	1309	342	1309	0,00	368	26
SE.L.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	35	35,42	-7	7
SE.L.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	614	177	733	118,69	214	37
SE.L.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	177	62	177	0,57	51	11
SE.L.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	177	62	177	0,57	51	11
SE.L.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	177	62	177	0,57	51	11
SE.L.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	177	62	177	0,57	51	11
SE.L.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	177	62	177	0,57	51	11
								Sum	815	Sum	279
								Max	119	Max	37

Tabela A. 9 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Évora, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Évora - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL						
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.E.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	318	103	325	6,57	99	4
SE.E.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	176	48	181	4,64	51	3
SE.E.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	381	136	381	0,01	126	10
SE.E.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	216	73	218	2,17	70	3
SE.E.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	203	50	203	0,00	55	5
SE.E.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	282	80	289	7,31	83	3
SE.E.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	270	79	268	2,25	80	1
SE.E.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	313	103	318	4,57	104	1
SE.E.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	385	102	383	1,84	99	3
SE.E.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	53	10	39	14,14	6	4
SE.E.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	454	137	455	1,04	137	0
SE.E.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	71	16	60	11,31	15	1
SE.E.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	7	0	7	0,00	19	19
SE.E.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	1091	318	1091	0,05	313	5
SE.E.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	11	1	10	0,01	3	2
SE.E.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	1267	405	1181	85,70	376	29
SE.E.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	295	87	300	4,65	88	1
SE.E.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	368	112	373	4,87	115	3
SE.E.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	158	33	152	6,16	36	3
SE.E.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	214	58	214	0,02	61	3
SE.E.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	500	140	518	18,03	148	8
SE.E.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	91	22	84	6,23	22	0
SE.E.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	315	87	301	14,60	77	10
SE.E.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	34	5	-5	39,63	-12	17
SE.E.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	13	2	-57	69,60	2	0
SE.E.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	1412	427	1335	76,43	395	32
SE.E.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	4	0	54	50,33	10	10
SE.E.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	895	283	917	22,60	283	0
SE.E.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	359	100	367	8,06	93	7
SE.E.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	50	11	0	49,47	-13	24
SE.E.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	456	134	438	18,06	121	13
SE.E.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	65	11	65	0,01	11	0
SE.E.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	6	0	6	0,25	0	0
SE.E.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	1038	304	1038	0,01	307	3
SE.E.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	10	0	-22	31,83	0	0
SE.E.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	1229	359	1201	27,88	359	0
SE.E.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	28	4	-106	134,20	-24	28
SE.E.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	1508	410	1516	8,62	433	23
SE.E.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	19	19,28	-8	8
SE.E.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	522	163	652	129,72	202	39
SE.E.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	258	84	253	5,14	69	15
SE.E.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	258	84	253	5,14	69	15
SE.E.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	258	84	253	5,14	69	15
SE.E.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	258	84	253	5,14	69	15
SE.E.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	258	84	253	5,14	69	15
								Sum	887	Sum	339
								Max	134	Max	39

Tabela A. 10 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Faro, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Faro - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]						
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL	CP	RH=100%				
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.F.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	246	61	259	12,78	60	1
SE.F.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	157	37	157	0,00	35	2
SE.F.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	285	86	303	17,84	85	1
SE.F.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	182	45	191	8,61	45	0
SE.F.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	176	35	175	1,18	35	0
SE.F.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	214	43	229	14,60	51	8
SE.F.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	215	55	224	8,84	54	1
SE.F.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	236	61	258	21,52	67	6
SE.F.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	259	50	257	1,94	50	0
SE.F.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	93	19	84	8,85	19	0
SE.F.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	297	78	304	7,52	78	0
SE.F.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	116	27	115	0,37	27	0
SE.F.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	2	0	8	6,31	17	17
SE.F.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	1079	258	1079	0,19	247	11
SE.F.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	4	0	2	1,43	0	0
SE.F.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	1265	347	1163	101,73	299	48
SE.F.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	232	54	241	9,55	59	5
SE.F.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	272	66	290	17,53	74	8
SE.F.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	145	31	138	6,65	27	4
SE.F.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	174	39	178	3,83	40	1
SE.F.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	327	79	336	9,03	84	5
SE.F.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	133	31	133	0,24	32	1
SE.F.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	216	41	207	8,95	40	1
SE.F.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	69	15	47	22,01	10	5
SE.F.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	6	0	-62	67,26	-5	5
SE.F.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	1360	337	1276	84,21	314	23
SE.F.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	1	0	53	52,38	17	17
SE.F.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	919	227	947	27,87	227	0
SE.F.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	245	52	242	2,91	50	2
SE.F.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	90	18	63	26,78	10	8
SE.F.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	298	73	288	9,46	66	7
SE.F.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	105	23	105	0,33	23	0
SE.F.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	1	0	2	1,00	7	7
SE.F.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	1042	241	1049	6,69	246	5
SE.F.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	4	0	-23	27,30	-4	4
SE.F.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	1186	293	1162	23,66	286	7
SE.F.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	10	0	-104	114,35	-11	11
SE.F.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	1318	296	1318	0,04	304	8
SE.F.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	21	21,06	-2	2
SE.F.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	735	195	831	95,29	212	17
SE.F.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	208	51	205	2,78	45	6
SE.F.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	208	51	205	2,78	45	6
SE.F.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	208	51	205	2,78	45	6
SE.F.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	208	51	205	2,78	45	6
SE.F.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	208	51	205	2,78	45	6
								Sum	855	Sum	254
								Max	114	Max	48

Tabela A. 11 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Berlim, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Berlim - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espe	IsolTerm.	Rad. OL						
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.BA.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	138	42	138	0,00	46	4
SE.BA.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	56	9	51	4,96	11	2
SE.BA.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	181	66	190	8,24	66	0
SE.BA.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	83	18	86	2,82	17	1
SE.BA.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	65	14	52	13,41	15	1
SE.BA.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	134	33	135	0,75	44	11
SE.BA.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	103	23	103	0,09	26	3
SE.BA.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	164	49	171	6,34	59	10
SE.BA.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	194	56	194	0,06	56	0
SE.BA.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	8	0	-5	13,66	-12	12
SE.BA.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	248	77	260	11,46	78	1
SE.BA.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	19	2	15	3,74	-7	9
SE.BA.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	1	0	13	11,70	0	0
SE.BA.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	631	255	662	31,19	254	1
SE.BA.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	3	0	3	0,13	0	0
SE.BA.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	787	323	758	28,41	280	43
SE.BA.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	115	25	115	0,32	34	9
SE.BA.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	200	68	200	0,03	68	0
SE.BA.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	44	8	28	15,39	-5	13
SE.BA.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	95	12	95	0,07	23	11
SE.BA.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	286	90	296	10,09	95	5
SE.BA.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	21	1	21	0,00	-7	8
SE.BA.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	148	37	148	0,63	28	9
SE.BA.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	5	0	-22	26,42	-23	23
SE.BA.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	3	0	-59	62,07	-32	32
SE.BA.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	916	355	862	53,41	330	25
SE.BA.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	0	0	64	63,89	21	21
SE.BA.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	490	175	548	57,25	193	18
SE.BA.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	165	47	181	15,51	46	1
SE.BA.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	7	0	-37	44,11	-29	29
SE.BA.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	280	97	260	19,37	78	19
SE.BA.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	19	1	34	15,10	1	0
SE.BA.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	2	0	27	25,28	7	7
SE.BA.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	570	195	602	32,38	219	24
SE.BA.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	2	0	-25	26,13	-17	17
SE.BA.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	816	304	805	10,83	305	1
SE.BA.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	12	7	-138	150,32	-65	72
SE.BA.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	1090	392	1067	22,19	385	7
SE.BA.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	66	0	142	76,46	42	42
SE.BA.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	207	52	342	135,28	126	74
SE.BA.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	104	31	109	4,28	31	0
SE.BA.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	104	31	109	4,28	31	0
SE.BA.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	104	31	109	4,28	31	0
SE.BA.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	104	31	109	4,28	31	0
SE.BA.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	104	31	109	4,28	31	0
								Sum	1004	Sum	563
								Max	150	Max	74



Tabela A. 12 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Berna, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Berna - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL						
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.BS.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	121	25	110	11,52	25	0
SE.BS.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	52	5	46	5,47	5	0
SE.BS.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	151	35	151	0,00	38	3
SE.BS.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	69	9	69	0,00	14	5
SE.BS.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	53	7	54	0,62	0	7
SE.BS.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	119	16	128	9,50	20	4
SE.BS.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	81	15	87	6,05	14	1
SE.BS.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	135	22	160	24,94	28	6
SE.BS.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	161	26	155	5,95	26	0
SE.BS.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	12	0	-29	41,01	0	0
SE.BS.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	195	41	195	0,09	47	6
SE.BS.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	20	0	-5	25,04	1	1
SE.BS.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	0	0	9	9,17	9	9
SE.BS.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	786	187	791	5,46	187	0
SE.BS.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	1	0	-25	26,04	-2	2
SE.BS.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	950	282	890	59,69	220	62
SE.BS.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	93	15	94	1,18	13	2
SE.BS.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	169	30	176	6,52	31	1
SE.BS.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	36	1	29	7,03	-8	9
SE.BS.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	85	10	95	9,80	8	2
SE.BS.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	228	43	229	0,58	47	4
SE.BS.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	26	2	-15	40,57	4	2
SE.BS.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	120	16	104	16,32	18	2
SE.BS.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	7	0	-36	42,96	-12	12
SE.BS.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	1	0	-125	126,06	-39	39
SE.BS.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	1126	316	1013	113,67	260	56
SE.BS.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	0	0	91	91,07	38	38
SE.BS.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	589	132	651	61,82	138	6
SE.BS.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	127	18	142	14,88	18	0
SE.BS.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	8	0	-48	55,80	-16	16
SE.BS.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	222	47	218	4,28	36	11
SE.BS.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	24	1	23	0,17	-1	2
SE.BS.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	0	0	17	17,40	1	1
SE.BS.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	710	157	751	41,08	171	14
SE.BS.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	1	0	-24	25,80	-12	12
SE.BS.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	940	217	940	0,00	217	0
SE.BS.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	6	0	-216	221,94	-69	69
SE.BS.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	1327	360	1194	133,06	299	61
SE.BS.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	153	153,17	64	64
SE.BS.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	303	68	440	137,20	95	27
SE.BS.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	90	14	112	21,79	6	8
SE.BS.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	90	14	112	21,79	6	8
SE.BS.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	90	14	112	21,79	6	8
SE.BS.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	90	14	112	21,79	6	8
SE.BS.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	90	14	112	21,79	6	8
								Sum	1575	Sum	562
								Max	222	Max	69

Tabela A. 13 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Budapeste, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Budapeste - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espeess	IsolTerm.	Rad. OL						
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.BH.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	73	25	73	0,11	25	0
SE.BH.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	36	7	31	4,31	6	1
SE.BH.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	91	30	92	1,27	30	0
SE.BH.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	47	10	36	10,54	10	0
SE.BH.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	50	17	64	14,13	19	2
SE.BH.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	56	8	76	20,38	19	11
SE.BH.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	68	22	74	6,61	21	1
SE.BH.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	66	12	91	25,18	26	14
SE.BH.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	106	33	95	11,51	30	3
SE.BH.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	9	1	-1	10,39	-4	5
SE.BH.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	127	39	127	0,00	39	0
SE.BH.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	14	2	-9	23,52	-5	7
SE.BH.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	3	0	7	4,47	1	1
SE.BH.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	394	119	395	0,52	120	1
SE.BH.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	3	0	-10	13,17	-1	1
SE.BH.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	475	155	437	38,17	131	24
SE.BH.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	74	23	83	9,10	26	3
SE.BH.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	82	25	100	17,80	29	4
SE.BH.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	38	8	37	1,54	7	1
SE.BH.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	38	3	48	10,68	9	6
SE.BH.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	148	42	143	4,95	48	6
SE.BH.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	16	2	-8	23,46	-6	8
SE.BH.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	81	26	60	20,73	14	12
SE.BH.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	6	0	-22	27,70	-10	10
SE.BH.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	4	0	-55	59,17	-16	16
SE.BH.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	561	175	499	61,72	154	21
SE.BH.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	2	0	33	31,10	9	9
SE.BH.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	308	89	314	5,87	90	1
SE.BH.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	104	32	112	7,63	33	1
SE.BH.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	10	2	-3	13,12	-5	7
SE.BH.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	124	39	128	3,66	36	3
SE.BH.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	10	0	10	0,05	-4	4
SE.BH.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	4	0	18	14,16	4	4
SE.BH.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	383	107	399	16,48	118	11
SE.BH.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	1	0	-3	4,57	-4	4
SE.BH.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	455	132	450	5,50	132	0
SE.BH.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	10	0	-97	106,44	-32	32
SE.BH.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	673	205	598	75,23	184	21
SE.BH.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	64	64,43	20	20
SE.BH.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	161	36	204	43,36	54	18
SE.BH.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	55	17	85	29,51	21	4
SE.BH.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	55	17	85	29,51	21	4
SE.BH.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	55	17	85	29,51	21	4
SE.BH.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	55	17	85	29,51	21	4
SE.BH.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	55	17	85	29,51	21	4
SE.BH.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	55	17	85	29,51	21	4
								Sum	842	Sum	298
								Max	106	Max	32

Tabela A. 14 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Londres, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Londres - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP (Pa)	RH=100% (h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
	Absorp (-)	Emiss (-)	Espess (m)	IsolTerm. (m)	Rad. OL (%)						
SE.LI.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	165	46	165	0,00	46	0
SE.LI.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	87	16	85	2,27	16	0
SE.LI.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	217	70	221	3,52	70	0
SE.LI.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	118	27	119	0,79	33	6
SE.LI.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	108	20	115	6,45	15	5
SE.LI.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	137	29	149	12,20	34	5
SE.LI.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	160	37	160	0,25	37	0
SE.LI.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	164	44	194	29,87	52	8
SE.LI.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	208	53	194	13,85	47	6
SE.LI.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	25	4	9	15,52	-8	12
SE.LI.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	268	82	268	0,00	81	1
SE.LI.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	41	7	25	16,17	-1	8
SE.LI.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	4	0	31	27,55	7	7
SE.LI.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	861	303	871	10,19	303	0
SE.LI.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	9	1	-4	12,84	1	0
SE.LI.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	1072	436	996	75,84	351	85
SE.LI.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	163	42	168	4,63	47	5
SE.LI.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	190	56	206	15,28	65	9
SE.LI.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	85	14	80	4,29	14	0
SE.LI.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	100	18	110	9,89	30	12
SE.LI.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	282	84	290	7,58	92	8
SE.LI.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	45	10	23	21,69	10	0
SE.LI.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	169	44	146	23,06	45	1
SE.LI.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	17	3	-15	32,00	-10	13
SE.LI.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	9	1	-97	105,97	-24	25
SE.LI.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	1208	453	1109	98,76	398	55
SE.LI.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	2	0	98	96,27	41	41
SE.LI.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	687	255	731	43,89	265	10
SE.LI.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	206	52	207	0,75	52	0
SE.LI.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	30	6	-5	34,70	-15	21
SE.LI.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	249	77	243	6,56	71	6
SE.LI.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	27	4	27	0,00	1	3
SE.LI.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	8	1	18	10,03	3	2
SE.LI.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	863	294	883	19,79	306	12
SE.LI.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	2	0	-3	5,58	0	0
SE.LI.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	977	343	971	5,44	343	0
SE.LI.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	16	2	-195	211,23	-74	76
SE.LI.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	1374	472	1283	90,78	458	14
SE.LI.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	150	149,51	67	67
SE.LI.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	361	106	511	149,49	181	75
SE.LI.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	133	34	148	14,86	32	2
SE.LI.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	133	34	148	14,86	32	2
SE.LI.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	133	34	148	14,86	32	2
SE.LI.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	133	34	148	14,86	32	2
SE.LI.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	133	34	148	14,86	32	2
								Sum	1389	Sum	604
								Max	211	Max	85

Tabela A. 15 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Madrid, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Madrid - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL						
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.M.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	177	68	177	0,00	64	4
SE.M.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	91	27	91	0,00	31	4
SE.M.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	205	84	205	0,00	75	9
SE.M.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	106	38	107	0,50	38	0
SE.M.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	103	27	97	5,99	34	7
SE.M.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	157	55	164	6,88	55	0
SE.M.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	131	40	135	4,56	41	1
SE.M.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	170	66	170	0,31	66	0
SE.M.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	222	71	220	2,18	71	0
SE.M.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	17	1	2	14,36	1	0
SE.M.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	254	90	256	1,51	87	3
SE.M.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	23	3	11	11,90	3	0
SE.M.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	5	0	10	5,12	6	6
SE.M.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	615	193	616	0,84	189	4
SE.M.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	7	0	3	4,28	1	1
SE.M.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	698	245	667	31,81	214	31
SE.M.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	155	51	158	2,85	53	2
SE.M.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	208	77	213	4,36	78	1
SE.M.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	74	19	69	5,11	19	0
SE.M.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	116	37	116	0,77	41	4
SE.M.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	291	98	299	7,47	106	8
SE.M.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	37	9	33	3,80	9	0
SE.M.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	176	58	172	4,68	50	8
SE.M.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	7	0	-25	32,08	-7	7
SE.M.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	12	0	-34	45,72	0	0
SE.M.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	812	261	768	43,80	238	23
SE.M.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	1	0	41	39,54	5	5
SE.M.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	488	163	509	20,65	163	0
SE.M.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	200	62	205	5,11	62	0
SE.M.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	13	0	-23	36,36	-13	13
SE.M.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	266	98	259	7,57	87	11
SE.M.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	24	1	25	0,54	9	8
SE.M.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	2	0	6	3,72	-1	1
SE.M.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	569	173	579	9,96	174	1
SE.M.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	9	0	-6	14,25	0	0
SE.M.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	702	218	692	9,63	220	2
SE.M.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	28	3	-65	93,28	-13	16
SE.M.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	895	259	893	2,07	270	11
SE.M.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	26	26,38	-5	5
SE.M.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	248	88	339	90,74	108	20
SE.M.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	138	55	136	1,93	44	11
SE.M.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	138	55	136	1,93	44	11
SE.M.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	138	55	136	1,93	44	11
SE.M.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	138	55	136	1,93	44	11
SE.M.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	138	55	136	1,93	44	11
								Sum	603	Sum	226
								Max	93	Max	31

Tabela A. 16 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Oslo, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Oslo - Norte						Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]		CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL		(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)							
SE.O.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5		250	130	250	0,05	136	6
SE.O.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5		100	50	100	0,00	39	11
SE.O.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5		290	166	297	6,68	185	19
SE.O.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5		122	59	129	7,06	63	4
SE.O.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5		152	66	139	13,07	66	0
SE.O.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5		185	80	197	12,33	90	10
SE.O.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5		190	87	197	6,89	104	17
SE.O.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5		207	99	215	8,31	125	26
SE.O.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5		407	175	397	9,91	191	16
SE.O.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5		4	2	-30	34,16	-30	32
SE.O.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5		463	245	463	0,00	252	7
SE.O.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5		2	20	-20	21,99	-19	39
SE.O.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10		7	0	33	26,04	11	11
SE.O.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0		880	470	879	0,09	446	24
SE.O.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10		8	0	8	0,18	-11	11
SE.O.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0		1003	588	980	22,98	541	47
SE.O.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5		247	119	249	2,80	138	19
SE.O.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5		283	133	291	8,65	162	29
SE.O.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5		99	36	94	5,74	30	6
SE.O.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5		117	49	128	11,20	51	2
SE.O.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5		567	290	586	19,32	318	28
SE.O.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5		14	5	-15	28,81	-13	18
SE.O.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5		303	133	281	22,08	123	10
SE.O.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5		1	0	-28	28,94	-38	38
SE.O.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10		18	5	-49	67,81	-34	39
SE.O.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0		1226	700	1167	59,12	635	65
SE.O.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10		2	0	98	96,55	32	32
SE.O.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0		649	344	700	50,88	350	6
SE.O.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5		403	195	406	2,79	199	4
SE.O.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5		7	4	-46	53,12	-46	50
SE.O.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5		463	234	447	16,04	223	11
SE.O.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5		4	0	-11	14,81	-25	25
SE.O.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10		11	2	30	19,09	2	0
SE.O.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0		850	433	876	25,77	447	14
SE.O.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10		6	0	5	0,43	-24	24
SE.O.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0		977	529	977	0,36	518	11
SE.O.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10		65	26	-77	142,28	-54	80
SE.O.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0		1533	772	1507	25,40	777	5
SE.O.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10		0	0	143	143,21	37	37
SE.O.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0		193	70	377	183,58	193	123
SE.O.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5		176	91	184	7,65	85	6
SE.O.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5		176	91	184	7,65	85	6
SE.O.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5		176	91	184	7,65	85	6
SE.O.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5		176	91	184	7,65	85	6
SE.O.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5		176	91	184	7,65	85	6
									Sum	1206	Sum	962
									Max	184	Max	123

Tabela A. 17 - Médias anuais do acumulado mensal do potencial de condensação positivo e o somatório anual do número de horas com humidade relativa da superfície exterior igual a 100% (valores numéricos simulados com o WUFI e estimados através do modelo Box-Behnken), para Roma, orientação Norte.

Ref.	Descrição: Roma - Norte					Valores numéricos		Valores estimados e erros			
	[0.2-0.7]	[0.80-0.95]	[0.005-0.02]	[0.04-0.10]	[0%-10%]	CP	RH=100%				
	Absorp	Emiss	Espess	IsolTerm.	Rad. OL						
	(-)	(-)	(m)	(m)	(%)	(Pa)	(h)	Estim.CP	Erro	Estim.RH	Erro
SE.R.N1	0,7	0,95	0,0125	0,07	5	203	44	206	3,55	46	2
SE.R.N2	0,7	0,8	0,0125	0,07	5	109	19	102	7,19	19	0
SE.R.N3	0,2	0,95	0,0125	0,07	5	260	72	286	25,94	76	4
SE.R.N4	0,2	0,8	0,0125	0,07	5	145	36	158	13,25	40	4
SE.R.N5	0,7	0,875	0,02	0,07	5	104	15	86	18,17	13	2
SE.R.N6	0,7	0,875	0,005	0,07	5	207	40	222	15,17	47	7
SE.R.N7	0,2	0,875	0,02	0,07	5	165	36	165	0,00	39	3
SE.R.N8	0,2	0,875	0,005	0,07	5	238	57	278	40,43	73	16
SE.R.N9	0,7	0,875	0,0125	0,1	5	214	39	212	1,94	36	3
SE.R.N10	0,7	0,875	0,0125	0,04	5	61	11	29	31,99	1	10
SE.R.N11	0,2	0,875	0,0125	0,1	5	268	60	293	24,93	68	8
SE.R.N12	0,2	0,875	0,0125	0,04	5	90	21	83	7,04	21	0
SE.R.N13	0,7	0,875	0,0125	0,07	10	0	0	27	26,92	13	13
SE.R.N14	0,7	0,875	0,0125	0,07	0	1292	305	1297	4,86	307	2
SE.R.N15	0,2	0,875	0,0125	0,07	10	1	0	-14	15,36	-4	4
SE.R.N16	0,2	0,875	0,0125	0,07	0	1595	436	1474	120,79	376	60
SE.R.N17	0,45	0,95	0,02	0,07	5	156	28	156	0,24	29	1
SE.R.N18	0,45	0,95	0,005	0,07	5	278	63	294	16,49	70	7
SE.R.N19	0,45	0,8	0,02	0,07	5	78	13	53	24,77	5	8
SE.R.N20	0,45	0,8	0,005	0,07	5	161	31	165	3,62	32	1
SE.R.N21	0,45	0,95	0,0125	0,1	5	286	58	312	25,99	62	4
SE.R.N22	0,45	0,95	0,0125	0,04	5	95	21	71	23,80	14	7
SE.R.N23	0,45	0,8	0,0125	0,1	5	166	30	152	13,92	24	6
SE.R.N24	0,45	0,8	0,0125	0,04	5	47	9	-1	48,10	-10	19
SE.R.N25	0,45	0,95	0,0125	0,07	10	0	0	-107	107,43	-26	26
SE.R.N26	0,45	0,95	0,0125	0,07	0	1684	406	1573	110,61	385	21
SE.R.N27	0,45	0,8	0,0125	0,07	10	0	0	78	78,12	17	17
SE.R.N28	0,45	0,8	0,0125	0,07	0	1081	264	1156	75,69	280	16
SE.R.N29	0,45	0,875	0,02	0,1	5	166	27	168	2,27	21	6
SE.R.N30	0,45	0,875	0,02	0,04	5	48	9	-26	73,65	-15	24
SE.R.N31	0,45	0,875	0,005	0,1	5	307	70	295	12,22	60	10
SE.R.N32	0,45	0,875	0,005	0,04	5	92	16	96	4,39	14	2
SE.R.N33	0,45	0,875	0,02	0,07	10	0	0	38	37,60	7	7
SE.R.N34	0,45	0,875	0,02	0,07	0	1131	255	1188	56,73	282	27
SE.R.N35	0,45	0,875	0,005	0,07	10	0	0	-67	67,21	-21	21
SE.R.N36	0,45	0,875	0,005	0,07	0	1583	378	1542	41,46	378	0
SE.R.N37	0,45	0,875	0,0125	0,1	10	1	0	-159	159,94	-37	37
SE.R.N38	0,45	0,875	0,0125	0,1	0	1640	362	1638	1,65	378	16
SE.R.N39	0,45	0,875	0,0125	0,04	10	0	0	62	62,37	0	0
SE.R.N40	0,45	0,875	0,0125	0,04	0	846	209	1024	177,25	259	50
SE.R.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	161	37	167	5,83	32	5
SE.R.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	161	37	167	5,83	32	5
SE.R.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	161	37	167	5,83	32	5
SE.R.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	161	37	167	5,83	32	5
SE.R.N41	0,45	0,875	0,0125	0,07	5	161	37	167	5,83	32	5
								Sum	1589	Sum	476
								Max	177	Max	60

Tabela A. 18 - Coeficientes de regressão dos cenários Porto (Norte e Sul)

P.N.	PC	HR=100%		P.S.	PC	HR=100%
b0 =	-494,39	858,66		b0 =	-577,40	1296,01
b1 =	-138,38	-251,82		b1 =	-478,65	-217,00
b2 =	622,55	-1709,66		b2 =	677,64	-2863,24
b3 =	-11481,90	-3999,34		b3 =	-11471,87	-3397,39
b4 =	7912,82	411,76		b4 =	7960,62	1391,04
b5 =	86,90	0,05		b5 =	156,52	2,20
b11 =	227,13	237,68		b11 =	396,55	182,02
b22 =	1243,21	1264,16		b22 =	1265,37	1987,30
b33 =	1700,19	200,05		b33 =	1700,52	-43,39
b44 =	-38734,05	-9510,02		b44 =	-38731,07	-2388,16
b55 =	25,99	6,60		b55 =	23,60	6,08
b12 =	-438,12	-90,05		b12 =	-318,41	-10,90
b13 =	-1666,15	51,79		b13 =	-1684,29	-1222,74
b14 =	-796,67	-537,93		b14 =	-779,86	-546,16
b15 =	57,22	18,47		b15 =	55,68	11,46
b23 =	-11439,24	-2852,99		b23 =	-11424,98	-2973,79
b24 =	13580,42	5016,61		b24 =	13632,81	2374,45
b25 =	-504,69	-111,13		b25 =	-554,88	-103,91
b34 =	-4798,56	-2286,78		b34 =	-4793,85	-524,99
b35 =	3266,17	841,91		b35 =	3272,62	936,65
b45 =	-1976,15	-437,30		b45 =	-1943,97	-394,60

Tabela A. 19 - Coeficientes de regressão dos cenários Porto (Este e Oeste)

P.E.	PC	HR=100%		P.O.	PC	HR=100%
b0 =	-833,60	668,98		b0 =	-446,93	693,74
b1 =	-266,33	-118,47		b1 =	-402,18	-278,47
b2 =	835,05	-1539,39		b2 =	317,03	-1435,02
b3 =	-12244,63	-4301,23		b3 =	-8540,53	-3888,68
b4 =	11964,85	1381,21		b4 =	12121,62	1861,02
b5 =	134,86	12,33		b5 =	82,85	-3,98
b11 =	115,87	66,55		b11 =	448,43	202,26
b22 =	1325,71	1204,06		b22 =	1584,69	1172,30
b33 =	1856,57	49,35		b33 =	1892,26	155,47
b44 =	-39956,00	-7632,85		b44 =	-40791,16	-9935,43
b55 =	24,91	5,63		b55 =	25,11	6,36
b12 =	-139,05	28,85		b12 =	-528,10	-41,49
b13 =	988,66	-28,20		b13 =	-7479,43	-173,79
b14 =	-186,24	-173,05		b14 =	-1584,87	-633,38
b15 =	36,69	4,92		b15 =	91,71	20,13
b23 =	-12827,60	-2710,15		b23 =	-9186,62	-2772,81
b24 =	8975,00	2754,44		b24 =	9260,98	3369,14
b25 =	-535,17	-105,96		b25 =	-503,41	-108,23
b34 =	-7563,07	-3506,98		b34 =	-6703,68	-3317,80
b35 =	3045,53	965,31		b35 =	2997,22	924,68
b45 =	-1918,98	-360,98		b45 =	-1916,87	-413,84

Tabela A. 20 - Coeficientes de regressão dos cenários Bragança e Coimbra (Norte)

B.N.	PC	HR=100%		C.N.	PC	HR=100%
b0 =	-1926,46	252,99		b0 =	-1474,67	1320,61
b1 =	46,97	-56,94		b1 =	-293,78	-95,06
b2 =	1739,52	-1200,67		b2 =	1844,85	-3092,36
b3 =	-5872,38	-2977,68		b3 =	-12298,21	-4329,04
b4 =	9219,61	1102,77		b4 =	15648,62	1862,90
b5 =	238,64	73,22		b5 =	155,81	18,05
b11 =	259,83	246,43		b11 =	438,60	210,14
b22 =	489,35	1114,29		b22 =	1045,50	2231,24
b33 =	1774,14	403,07		b33 =	2592,84	209,15
b44 =	-36075,65	-16179,25		b44 =	-54847,68	-10613,81
b55 =	15,83	5,50		b55 =	28,39	7,55
b12 =	-489,18	-291,96		b12 =	-404,48	-218,44
b13 =	-4715,09	-1595,55		b13 =	-6780,01	-51,98
b14 =	-2917,79	-1972,19		b14 =	-1708,86	-964,04
b15 =	49,37	31,81		b15 =	59,53	18,39
b23 =	-7066,89	-2786,09		b23 =	-13058,10	-3300,40
b24 =	20813,99	9770,85		b24 =	13788,99	5249,27
b25 =	-460,98	-160,89		b25 =	-608,21	-140,52
b34 =	-6391,87	-4744,92		b34 =	-10307,04	-2665,81
b35 =	1702,22	747,58		b35 =	3426,24	907,16
b45 =	-2430,44	-750,45		b45 =	-2528,79	-605,67

Tabela A. 21 - Coeficientes de regressão dos cenários Castelo Branco e Lisboa (Norte)

CB.N.	PC	HR=100%		L.N.	PC	HR=100%
b0 =	-1915,74	175,39		b0 =	-555,04	255,42
b1 =	85,61	36,42		b1 =	-41,90	-138,27
b2 =	3020,04	-674,46		b2 =	195,75	-767,44
b3 =	-2668,58	-1278,95		b3 =	-2448,48	-1768,02
b4 =	6393,61	2031,64		b4 =	8543,90	3203,49
b5 =	112,38	9,88		b5 =	98,53	-0,08
b11 =	17,40	78,97		b11 =	94,45	143,48
b22 =	-903,68	622,99		b22 =	937,53	717,24
b33 =	1685,50	265,34		b33 =	1660,88	373,54
b44 =	-32496,01	-10058,46		b44 =	-33681,00	-14035,69
b55 =	9,36	3,04		b55 =	13,88	4,03
b12 =	-193,62	-170,99		b12 =	-96,80	-32,44
b13 =	-309,69	-665,90		b13 =	-2808,39	-1688,76
b14 =	-1096,24	-501,57		b14 =	-769,98	-500,90
b15 =	16,22	10,81		b15 =	14,37	12,64
b23 =	-3668,86	-702,85		b23 =	-3301,05	-88,62
b24 =	10006,56	2649,91		b24 =	7071,86	1823,22
b25 =	-250,50	-58,62		b25 =	-314,39	-69,10
b34 =	-4752,05	-2626,31		b34 =	-5211,02	-2661,29
b35 =	687,51	267,40		b35 =	722,96	278,28
b45 =	-1165,41	-298,36		b45 =	-1187,57	-275,18



Tabela A. 22 - Coeficientes de regressão dos cenários Évora e Faro (Norte)

E.N.	PC	HR=100%		F.N.	PC	HR=100%
b0 =	-679,95	427,85		b0 =	-307,32	362,37
b1 =	-18,42	-116,68		b1 =	-217,04	25,32
b2 =	-179,06	-1334,35		b2 =	4,60	-902,91
b3 =	-3970,33	-2201,26		b3 =	-2753,16	-1620,10
b4 =	8328,59	3319,01		b4 =	9042,44	985,52
b5 =	166,55	15,11		b5 =	62,54	3,38
b11 =	268,07	182,76		b11 =	253,19	103,60
b22 =	1228,30	1063,33		b22 =	1121,42	807,16
b33 =	1888,65	310,84		b33 =	1644,82	186,24
b44 =	-39138,83	-17900,80		b44 =	-34246,94	-9089,72
b55 =	12,12	3,90		b55 =	13,68	3,55
b12 =	-252,61	-111,33		b12 =	-126,71	-196,62
b13 =	-4794,40	-625,52		b13 =	-2593,04	-317,03
b14 =	-1726,59	-960,94		b14 =	-516,47	-668,45
b15 =	17,17	15,64		b15 =	18,07	13,71
b23 =	-5037,33	-744,99		b23 =	-3807,97	-845,19
b24 =	14182,80	4029,94		b24 =	4766,99	2464,58
b25 =	-352,81	-79,99		b25 =	-296,14	-72,95
b34 =	-5841,09	-4476,48		b34 =	-4929,96	-2473,84
b35 =	1278,20	346,13		b35 =	924,07	340,90
b45 =	-1649,52	-411,49		b45 =	-1020,91	-169,95

Tabela A. 23 - Coeficientes de regressão dos cenários Berlim e Berna (Norte)

BA.N.	PC	HR=100%		BS.N.	PC	HR=100%
b0 =	-1056,04	-641,58		b0 =	-3346,84	73,34
b1 =	37,37	69,51		b1 =	119,30	-90,40
b2 =	1109,06	870,51		b2 =	5903,81	-829,72
b3 =	-5185,94	-3361,17		b3 =	-6195,79	-1568,18
b4 =	2460,34	722,70		b4 =	7163,70	2041,06
b5 =	174,17	76,47		b5 =	227,79	92,08
b11 =	103,94	76,62		b11 =	-71,77	148,35
b22 =	207,95	-133,74		b22 =	-2343,05	907,64
b33 =	264,80	183,25		b33 =	1587,68	-446,62
b44 =	1100,49	-7714,59		b44 =	-31122,58	3384,22
b55 =	9,76	3,92		b55 =	12,37	3,52
b12 =	-220,90	-184,47		b12 =	-247,37	-61,54
b13 =	-2027,32	618,05		b13 =	-102,80	-710,34
b14 =	-1489,87	-534,58		b14 =	-493,87	-654,98
b15 =	21,17	5,22		b15 =	26,69	8,72
b23 =	-7767,19	-2833,86		b23 =	-6916,45	-1060,51
b24 =	11717,22	5655,09		b24 =	11471,13	1404,76
b25 =	-291,90	-127,05		b25 =	-384,62	-133,43
b34 =	-8991,78	-2571,45		b34 =	-4991,58	-3281,54
b35 =	1695,22	732,76		b35 =	1538,74	389,41
b45 =	-1676,10	-609,86		b45 =	-1871,74	-562,01

Tabela A. 24 - Coeficientes de regressão dos cenários Budapeste e Londres (Norte)

BH.N.	PC	HR=100%		LI.N.	PC	HR=100%
b0 =	-3359,32	-664,58		b0 =	-2546,64	340,36
b1 =	299,30	1,88		b1 =	34,24	29,84
b2 =	6502,79	1212,51		b2 =	3959,26	-1445,98
b3 =	-1243,54	-928,95		b3 =	-2520,82	-1218,71
b4 =	4252,33	370,00		b4 =	8228,44	3052,57
b5 =	118,86	41,09		b5 =	222,05	71,23
b11 =	-139,63	3,30		b11 =	103,71	37,84
b22 =	-3244,80	-575,88		b22 =	-1191,23	1239,78
b33 =	1487,00	194,87		b33 =	1747,15	21,86
b44 =	-26105,62	-6685,35		b44 =	-33358,94	-5313,12
b55 =	5,24	1,66		b55 =	12,78	5,24
b12 =	-195,86	-17,32		b12 =	-277,75	-104,69
b13 =	609,11	780,75		b13 =	-6,95	-528,81
b14 =	-1334,35	-318,36		b14 =	-1909,64	-870,39
b15 =	11,83	2,78		b15 =	31,93	10,86
b23 =	-2416,44	-231,43		b23 =	-3558,90	-993,65
b24 =	7563,82	3320,41		b24 =	11688,41	3128,96
b25 =	-182,28	-59,57		b25 =	-382,84	-131,99
b34 =	-4329,01	-2130,47		b34 =	-4494,33	-2853,94
b35 =	478,53	150,95		b35 =	729,88	276,43
b45 =	-925,01	-303,47		b45 =	-1861,35	-696,35

Tabela A. 25 - Coeficientes de regressão dos cenários Madrid e Oslo (Norte)

M.N.	PC	HR=100%		O.N.	PC	HR=100%
b0 =	-696,95	272,12		b0 =	-132,49	594,90
b1 =	58,86	-42,28		b1 =	163,54	81,41
b2 =	263,39	-805,34		b2 =	-1184,67	-2260,34
b3 =	-2194,81	-2046,67		b3 =	-1034,66	-2841,24
b4 =	5958,49	424,44		b4 =	-11015,37	-6382,69
b5 =	117,84	18,65		b5 =	287,98	155,27
b11 =	94,96	69,41		b11 =	51,65	174,80
b22 =	589,43	593,66		b22 =	1243,77	1721,48
b33 =	1135,69	230,05		b33 =	-505,90	-511,14
b44 =	-21601,22	-9275,93		b44 =	17145,45	2659,90
b55 =	7,28	2,15		b55 =	11,53	6,02
b12 =	-146,82	-47,57		b12 =	-247,49	-347,74
b13 =	-4327,17	505,57		b13 =	-5264,16	-602,18
b14 =	-906,60	-479,25		b14 =	-1844,91	-1680,52
b15 =	11,59	6,06		b15 =	25,12	23,57
b23 =	-3462,00	-1203,22		b23 =	-3230,26	-1529,58
b24 =	7750,61	4369,51		b24 =	32423,94	18904,74
b25 =	-222,35	-53,05		b25 =	-409,57	-233,92
b34 =	-6142,96	-2369,04		b34 =	-6927,23	-3719,02
b35 =	836,33	294,96		b35 =	835,81	643,66
b45 =	-1075,31	-284,32		b45 =	-2251,55	-1125,57

Tabela A. 26 - Coeficientes de regressão dos cenários Paris e Roma (Norte)

PF.N.	PC	HR=100%		R.N.	PC	HR=100%
b0 =	-2303,45	-5,06		b0 =	-1116,17	-34,70
b1 =	80,17	-3,94		b1 =	-279,55	-163,97
b2 =	3795,99	-385,10		b2 =	2308,73	-1,77
b3 =	-4748,67	-2091,76		b3 =	-11549,99	290,20
b4 =	7457,25	1358,04		b4 =	7378,11	2689,64
b5 =	165,24	36,71		b5 =	49,77	0,92
b11 =	55,70	137,63		b11 =	335,39	180,93
b22 =	-1195,16	617,89		b22 =	41,74	418,61
b33 =	1738,42	257,53		b33 =	1702,89	-308,27
b44 =	-34122,99	-8967,68		b44 =	-37320,99	-12729,68
b55 =	13,85	5,92		b55 =	20,32	5,20
b12 =	-313,05	-267,18		b12 =	-312,63	-126,16
b13 =	-92,68	507,95		b13 =	-3031,21	-62,96
b14 =	-2219,16	-917,73		b14 =	-919,67	-372,23
b15 =	41,57	22,20		b15 =	43,63	17,37
b23 =	-5693,10	-1421,20		b23 =	-11796,45	-6639,99
b24 =	12750,57	5828,74		b24 =	9800,36	1601,86
b25 =	-361,56	-125,42		b25 =	-401,46	-98,67
b34 =	-4760,62	-2437,20		b34 =	-5877,10	-11769,98
b35 =	1290,33	392,69		b35 =	3057,05	821,25
b45 =	-1725,70	-579,82		b45 =	-1393,10	-261,92

Tabela A. 27 – Variações percentuais entre os valores estimados e os valores numéricos da média anual do acumulado mensal do potencial de condensação positivo para as 46 simulações de todos os cenários (orientação Norte) e média das variações percentuais por clima.

	PORTO N	BRAG N	COIMB N	C.B. N	LISB. N	ÉVORA N	FARO N	BERLIM N	BERNA N	BUDA N	LOND N	MADR N	OSLO N	PARIS N	ROMA N
Simulação 1	0,27%	2,80%	2,49%	0,50%	1,38%	2,02%	4,93%	0,00%	10,50%	0,14%	0,00%	0,00%	0,02%	3,43%	1,72%
Simulação 2	0,04%	14,86%	0,07%	14,38%	0,11%	2,56%	0,00%	9,71%	11,88%	13,77%	2,69%	0,00%	0,00%	1,17%	7,04%
Simulação 3	5,52%	5,21%	4,62%	6,77%	0,38%	0,00%	5,89%	4,35%	0,00%	1,37%	1,60%	0,00%	0,00%	2,25%	9,08%
Simulação 4	4,17%	5,29%	5,16%	0,57%	2,41%	0,99%	4,51%	3,29%	0,00%	29,17%	0,66%	0,47%	0,47%	5,49%	7,77%
Simulação 5	4,67%	4,91%	11,07%	3,25%	3,15%	0,00%	0,68%	25,83%	1,15%	22,00%	5,62%	6,16%	9,41%	0,13%	21,15%
Simulação 6	0,02%	0,35%	6,90%	2,28%	4,85%	2,53%	6,39%	0,55%	7,41%	26,71%	8,20%	4,19%	6,26%	6,41%	6,83%
Simulação 7	0,69%	0,56%	0,07%	9,00%	0,03%	0,84%	3,95%	0,09%	6,98%	8,92%	0,16%	3,37%	3,50%	0,05%	0,00%
Simulação 8	6,44%	5,23%	8,09%	12,09%	4,01%	1,44%	8,34%	3,72%	15,61%	27,74%	15,44%	0,18%	3,86%	15,89%	14,52%
Simulação 9	4,47%	3,40%	0,05%	1,93%	1,92%	0,48%	0,75%	0,03%	3,83%	12,14%	7,13%	0,99%	2,50%	4,36%	0,92%
Simulação 10	47,55%	60,25%	3,76%	5,53%	54,11%	36,23%	10,53%	4,41%	0,05%	0,00%	0,00%	0,59%	0,00%	5,95%	110,54%
Simulação 11	0,53%	6,37%	3,76%	5,53%	0,00%	0,23%	2,47%	4,41%	0,05%	0,00%	0,00%	0,59%	0,00%	5,95%	8,50%
Simulação 12	9,73%	14,74%	14,74%	162,05%	28,27%	18,94%	0,32%	24,49%	98,96%	61,90%	88,21%	53,01%	78,53%	83,54%	100,00%
Simulação 13	94,17%	70,31%	96,74%	0,00%	99,15%	0,05%	76,77%	92,78%	0,69%	0,13%	1,17%	0,14%	0,01%	0,14%	0,37%
Simulação 14	0,00%	2,27%	0,97%	0,85%	0,02%	0,00%	0,02%	4,71%	0,69%	0,13%	1,17%	0,14%	0,01%	0,14%	0,37%
Simulação 15	18,44%	21,91%	21,91%	0,05%	0,05%	0,10%	66,33%	4,66%	6,71%	8,74%	7,62%	4,77%	2,12%	5,35%	8,20%
Simulação 16	8,78%	5,18%	7,22%	4,21%	8,45%	7,26%	8,75%	3,75%	6,71%	8,74%	7,62%	4,77%	2,34%	5,35%	8,20%
Simulação 17	4,06%	5,49%	1,38%	7,35%	2,25%	1,55%	3,96%	0,27%	1,26%	11,01%	2,76%	1,80%	1,12%	1,66%	0,15%
Simulação 18	1,98%	4,55%	4,38%	6,56%	5,41%	1,31%	6,05%	0,01%	3,71%	17,85%	7,43%	2,05%	2,97%	3,96%	5,61%
Simulação 19	5,02%	25,67%	17,83%	5,18%	0,00%	4,05%	4,81%	54,00%	24,15%	4,21%	5,34%	7,36%	6,13%	6,45%	46,36%
Simulação 20	0,12%	6,45%	3,04%	0,81%	5,51%	0,01%	2,15%	0,07%	10,32%	22,08%	8,96%	0,66%	8,73%	15,80%	2,19%
Simulação 21	5,47%	9,35%	3,94%	6,33%	3,47%	3,48%	2,69%	3,41%	0,25%	3,47%	2,62%	2,50%	3,30%	5,33%	8,34%
Simulação 22	17,07%	98,67%	18,57%	68,84%	9,79%	7,39%	0,18%	0,00%	15,66%	34,53%	92,69%	11,61%	7,86%	6,55%	33,51%
Simulação 23	10,55%	2,44%	3,27%	6,86%	1,33%	4,86%	4,32%	0,42%	15,66%	34,53%	15,82%	2,73%	7,86%	6,55%	9,18%
Simulação 24	82,35%				362,98%		46,58%								
Simulação 25															
Simulação 26	6,75%	6,31%	6,30%	5,67%	6,79%	5,72%	6,60%	6,19%	11,23%	12,37%	8,90%	5,70%	5,07%	8,41%	7,03%
Simulação 27	97,50%	93,61%	99,86%	94,99%	100,00%	92,43%	98,71%	99,77%	100,00%	94,09%	97,82%	97,29%	98,09%	98,32%	100,00%
Simulação 28	7,41%	4,00%	6,78%	2,81%	3,65%	2,46%	2,94%	10,45%	9,49%	1,87%	6,00%	4,06%	7,26%	7,35%	6,55%
Simulação 29	0,00%	10,15%	0,06%	7,26%	0,00%	2,19%	1,20%	8,58%	10,50%	6,84%	0,36%	2,49%	0,69%	6,97%	1,35%
Simulação 30	322,88%				264,68%		42,47%								
Simulação 31	9,01%	0,79%	3,32%	0,16%	0,95%	4,13%	3,28%	7,44%	1,97%	2,86%	2,70%	2,93%	3,59%	1,15%	4,14%
Simulação 32	0,14%	384,66%	0,15%	61,26%	3,25%	0,01%	0,32%	44,14%	0,73%	0,56%	0,01%	2,16%	2,16%		4,57%
Simulação 33	95,23%	0,00%	98,07%	19,99%	4,12%	4,12%	48,07%	93,74%	100,00%	78,14%	56,47%	60,39%	64,29%	0,00%	100,00%
Simulação 34	4,52%	0,94%	3,62%	1,32%	0,15%	0,00%	0,64%	5,37%	5,47%	4,13%	2,24%	1,72%	2,94%	4,16%	4,78%
Simulação 35													8,17%		
Simulação 36	1,88%	1,85%	1,94%	0,17%	1,41%	2,32%	2,04%	1,35%	0,00%	1,22%	0,56%	1,39%	0,04%	0,56%	2,69%
Simulação 37															
Simulação 38	0,02%	1,86%	0,05%	0,22%	0,00%	0,57%	0,00%	2,08%	11,15%	12,58%	7,08%	0,23%	1,68%	4,76%	0,10%
Simulação 39	99,82%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	53,66%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Simulação 40	20,24%	32,33%	20,75%	24,95%	16,19%	19,90%	11,47%	39,52%	31,16%	21,24%	29,27%	26,78%	48,72%	28,91%	17,31%
Simulação 41	1,01%	0,81%	0,00%	7,57%	0,32%	2,03%	1,35%	3,94%	19,53%	34,71%	10,07%	1,42%	4,17%	14,67%	3,49%
Simulação 42	1,01%	0,81%	0,00%	7,57%	0,32%	2,03%	1,35%	3,94%	19,53%	34,71%	10,07%	1,42%	4,17%	14,67%	3,49%
Simulação 43	1,01%	0,81%	0,00%	7,57%	0,32%	2,03%	1,35%	3,94%	19,53%	34,71%	10,07%	1,42%	4,17%	14,67%	3,49%
Simulação 44	1,01%	0,81%	0,00%	7,57%	0,32%	2,03%	1,35%	3,94%	19,53%	34,71%	10,07%	1,42%	4,17%	14,67%	3,49%
Simulação 45	1,01%	0,81%	0,00%	7,57%	0,32%	2,03%	1,35%	3,94%	19,53%	34,71%	10,07%	1,42%	4,17%	14,67%	3,49%
Simulação 46	1,01%	0,81%	0,00%	7,57%	0,32%	2,03%	1,35%	3,94%	19,53%	34,71%	10,07%	1,42%	4,17%	14,67%	3,49%
<b>Média:</b>	<b>23,34%</b>	<b>24,23%</b>	<b>15,55%</b>	<b>17,68%</b>	<b>26,14%</b>	<b>8,35%</b>	<b>13,89%</b>	<b>15,91%</b>	<b>19,41%</b>	<b>22,98%</b>	<b>22,00%</b>	<b>31,43%</b>	<b>13,47%</b>	<b>14,58%</b>	<b>19,51%</b>

Tabela A. 28 - Variações percentuais entre os valores estimados e os valores numéricos do somatório anual do número de horas de humidade relativa da superfície exterior igual a 100% para as 46 simulações de todos os cenários (orientação Norte) e média das variações percentuais por clima.

	PORTO N	BRAGN	COIMB N	C.B. N	LSB. N	ÉVORA N	FARO N	BERLIM N	BERNAN	BUDAN	LOND N	MADR N	OSLO N	PARIS N	ROMAN
Simulação 1	0,45%	2,05%	3,73%	1,07%	0,06%	4,08%	1,54%	8,35%	0,11%	0,00%	0,00%	5,43%	4,38%	11,22%	3,85%
Simulação 2	4,33%	9,98%	0,00%	2,20%	0,11%	5,43%	6,64%	17,76%	0,00%	10,14%	2,71%	11,83%	26,81%	18,48%	0,12%
Simulação 3	7,70%	6,86%	0,20%	2,25%	0,63%	7,61%	0,82%	0,00%	8,54%	0,40%	0,57%	11,30%	10,47%	12,07%	5,57%
Simulação 4	21,59%	5,79%	5,66%	5,12%	0,15%	4,55%	0,39%	4,14%	33,95%	1,73%	18,17%	0,07%	6,08%	3,55%	10,11%
Simulação 5	22,75%	10,99%	24,51%	1,18%	0,30%	8,93%	0,04%	5,08%		11,09%	36,19%	19,41%	0,67%	0,72%	16,73%
Simulação 6	7,43%	4,44%	3,02%	9,54%	7,69%	3,49%	15,18%	24,22%	18,10%	57,30%	14,24%	0,06%	11,50%	12,61%	15,23%
Simulação 7	5,17%	11,72%	1,67%	12,05%	5,74%	1,85%	1,75%	10,47%	8,49%	6,47%	0,38%	1,95%	16,54%	8,14%	7,32%
Simulação 8	17,17%	12,27%	8,44%	15,99%	4,01%	0,76%	9,44%	17,12%	20,88%	54,08%	15,88%	0,08%	20,53%	20,47%	21,61%
Simulação 9	0,01%	5,00%	3,33%	4,10%	0,07%	2,66%	0,58%	0,44%	0,05%	9,72%	12,61%	0,36%	8,29%	6,21%	7,34%
Simulação 10	248,77%		48,58%		18,24%	61,87%	0,21%					0,02%			1233,74%
Simulação 11	10,18%	10,02%	0,16%	7,97%	0,19%	0,01%	0,22%	0,68%	12,29%	0,82%	1,75%	3,30%	2,95%	13,86%	11,34%
Simulação 12	0,32%	43,62%	7,93%	17,43%	10,73%	6,64%	0,51%	100,00%	100,00%	100,00%		0,02%			0,00%
Simulação 13	67,09%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Simulação 14	0,01%	8,45%	0,29%	6,09%	0,98%	1,45%	4,62%	0,36%	0,00%	0,46%	0,02%	1,96%	5,45%	6,21%	0,56%
Simulação 15		18,37%			100,00%	69,79%	100,00%	100,00%			72,69%	100,00%			
Simulação 16	21,38%	13,53%	19,89%	9,36%	10,70%	7,77%	16,16%	15,19%	28,34%	18,35%	24,33%	14,69%	8,67%	10,69%	15,98%
Simulação 17	1,66%	9,32%	7,97%	10,29%	1,19%	1,17%	7,69%	26,43%	11,67%	11,41%	10,07%	4,32%	13,50%	12,64%	3,09%
Simulação 18	15,87%	5,52%	8,17%	6,93%	3,22%	2,19%	10,75%	0,42%	4,06%	13,10%	13,81%	1,30%	17,84%	6,14%	10,59%
Simulação 19	24,65%	28,94%	27,76%	0,21%	10,62%	9,54%	16,11%			15,46%	2,38%	0,01%	21,05%	75,28%	165,62%
Simulação 20	7,92%	0,00%	4,07%	10,24%	3,23%	5,36%	3,09%	48,49%	29,18%	67,44%	40,73%	9,76%	3,16%	8,53%	1,67%
Simulação 21	7,83%	14,13%	8,92%	5,68%	8,53%	5,41%	6,19%	5,23%	7,58%	13,17%	8,91%	7,20%	8,72%	13,69%	7,04%
Simulação 22	89,05%		2,42%	25,16%	16,32%	1,24%	2,66%		53,65%		1,12%	0,00%			49,05%
Simulação 23	0,76%	4,19%	0,06%	3,73%	10,23%	12,28%	1,55%	33,46%	10,48%	83,92%	1,47%	15,37%	8,06%	8,19%	26,51%
Simulação 24	379,32%		53,77%				47,27%					100,00%			
Simulação 25						0,07%									
Simulação 26	13,19%	9,11%	12,22%	4,59%	6,62%	8,00%	7,17%	7,50%	21,35%	13,78%	13,90%	9,58%	10,29%	7,04%	5,43%
Simulação 27	86,17%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Simulação 28	1,74%	1,39%	1,37%	1,06%	0,26%	0,00%	0,00%	9,40%	4,35%	0,92%	3,86%	0,16%	1,62%	3,19%	5,59%
Simulação 29	4,95%	9,51%	1,71%	0,10%	8,74%	7,58%	4,08%	2,23%	0,05%	2,30%	0,48%	0,64%	1,79%	11,02%	28,69%
Simulação 30							83,74%								
Simulação 31	15,99%	7,36%	16,73%	14,65%	5,24%	11,10%	11,33%	23,97%	30,09%	7,57%	8,94%	12,87%	5,02%	15,82%	15,93%
Simulação 32	8,79%		10,03%	61,99%	2,99%	0,00%	0,77%	4,51%			248,21%	88,66%			14,37%
Simulação 33	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%			100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	70,11%		0,00%		100,00%
Simulação 34	3,76%	2,96%	1,30%	0,12%	1,34%	1,11%	2,10%	11,13%	8,27%	9,42%	3,79%	0,80%	3,14%	2,38%	9,62%
Simulação 35															
Simulação 36	3,13%	1,33%	3,12%	1,64%	0,15%	0,01%	2,36%	0,49%	0,00%	0,00%	0,13%	0,85%	2,15%	0,05%	0,04%
Simulação 37															
Simulação 38	0,19%	0,00%	0,14%	6,31%	7,13%	5,23%	2,68%	1,80%	20,24%	11,34%	2,99%	4,03%	0,61%	1,51%	4,33%
Simulação 39	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%				100,00%	100,00%	100,00%	100,00%		100,00%	100,00%	100,00%
Simulação 40	19,70%	35,42%	19,23%	25,41%	17,19%	19,14%	7,97%	58,72%	28,34%	33,27%	41,48%	18,26%	63,73%	31,49%	19,22%
Simulação 41	18,41%	14,14%	14,32%	15,11%	21,28%	21,60%	12,59%	0,08%	129,39%	18,84%	5,85%	23,66%	6,69%	3,04%	17,06%
Simulação 42	18,41%	14,14%	14,32%	15,11%	21,28%	21,60%	12,59%	0,08%	129,39%	18,84%	5,85%	23,66%	6,69%	3,04%	17,06%
Simulação 43	18,41%	14,14%	14,32%	15,11%	21,28%	21,60%	12,59%	0,08%	129,39%	18,84%	5,85%	23,66%	6,69%	3,04%	17,06%
Simulação 44	18,41%	14,14%	14,32%	15,11%	21,28%	21,60%	12,59%	0,08%	129,39%	18,84%	5,85%	23,66%	6,69%	3,04%	17,06%
Simulação 45	18,41%	14,14%	14,32%	15,11%	21,28%	21,60%	12,59%	0,08%	129,39%	18,84%	5,85%	23,66%	6,69%	3,04%	17,06%
Simulação 46	18,41%	14,14%	14,32%	15,11%	21,28%	21,60%	12,59%	0,08%	129,39%	18,84%	5,85%	23,66%	6,69%	3,04%	17,06%
Média:	32,43%	20,45%	19,32%	19,57%	15,13%	15,15%	17,88%	20,50%	45,46%	26,85%	25,82%	19,66%	17,31%	18,27%	55,47%